

Klimaatenvelop - Betoninnovaties

Toelichting op LCA- en LCC-berekeningen voor pilotprojecten

Contactgegevens

Voor vragen over dit document en de berekeningenprocedure kunt u contact opnemen met de volgende personen:

- Centraal aanspreekpunt Rijkswaterstaat: Valerie Diemel, valerie.diemel@rws.nl.
- Voor LCA: Elisabeth Keijzer (TNO), elisabeth.keijzer@tno.nl / 06-25075313.
- Voor LCC: Arjen Ros (Copernicos Groep), arjen.ros@copernicos.com / 06-10966146.

De uitvraag is opgesteld in samenwerking met SGS Intron en CE Delft; opdat zij maximaal geïnformeerd zijn om, wanneer gewenst, de pilotprojecten te ondersteunen bij het aanleveren van de gevraagde informatie. Contactgegevens zijn:

- Voor Geopolymeren: Ulbert Hofstra (SGS INTRON), ulbert.hofstra@sgs.com / 088-2145100.
- Voor Mechanische recycling: Sanne Nusselder (CE Delft), nusselder@ce.nl / 015-2150186.

Dit document is opgesteld met TNO (en Copernicos Groep v.w.b. LCC) in een iteratief proces waarbij feedback is verkregen van adviesbureaus (CE Delft en SGS Intron), facilitators (RWS en ProRail) en piloteigenaren.

Inhoudsopgave

1. Introductie	3
1.1. Broeikasgasreductie d.m.v. betoninnovaties	3
1.2. Procedure m.b.t. Klimaatvelop betonpilots	3
1.3. Opbouw van dit document	4
2. Aanpak betoninnovaties: LCA, LCC en opschaalbaarheid	6
2.1. Vergelijken ten opzichte van de Referentie	6
2.2. Startpunt: levenscyclusbenadering	7
2.3. Prioriteren op basis van effect	8
2.4. KPI's: Milieueffecten en Kosten	9
2.5. Pilots: huidige stand van zaken en opschaalbaarheid	10
3. Aan te leveren informatie voor de onderbouwing van milieueffecten en kosten	11
3.1. De Referentie:	12
3.2. Onderbouwing voor fase A1 + A2: samenstelling en transport	12
3.3. Onderbouwing voor fase A3 Productie	13
3.4. Onderbouwing voor de andere levensfasen (A4-D)	13
3.5. Onderbouwing opschaalbaarheid	14
3.6. Verificatieplan en rapportage	15
Bijlage 1 Begrippen- en afkortingenlijst	16
Bijlage 2 Format voor indienen LCA- en LCC-berekeningen	20
Bijlage 3 Milieueffecten van recycling en opwerking van betonafval in beeld	21
Waarom deze bijlage	21
Verschillende manieren om recycling in kaart te brengen	21
Voorgeschreven methode voor de klimaatveloppilots	22
Bijlage 4 Ter inspiratie: mogelijke referenties	24
Bijlage 5 Invloedrijke factoren in de LCA en LCC	25
Milieueffecten beton in de keten	25
(1) Geopolymeren	27
Analyse van de impacts	27
Prioriteren op basis van effect en verificatie	30
(2) Mechanische recycling	31
Analyse van de impacts	31
Prioriteren op basis van effect en verificatie	34

1. Introductie

1.1. Broeikasgasreductie d.m.v. betoninnovaties

De Rijksoverheid heeft in 2019 extra geld beschikbaar gesteld om via publieke inkoop een impuls te geven aan de transitie naar een klimaatneutrale economie. Dit budget is beschikbaar gesteld in de zogenaamde klimaatvelop. In 2019 is één van deze Klimaatveloppen opgezet rondom betoninnovaties om de beoogde broeikasgasreductie (CO₂-equivalenten) in het betondomein te versnellen. In deze klimaatvelop zijn een aantal pilotprojecten m.b.t. betoninnovaties gefaciliteerd door Rijkswaterstaat en ProRail. Op basis van de pilotprojecten in 2019 is voorliggend document gemaakt met een algemene instructie om betoninnovaties te beoordelen op effectiviteit voor een klimaatneutrale economie.

Voorliggend document beschrijft welke milieu- en kosteninformatie moet worden aangeleverd in pilotprojecten rondom betoninnovaties.

Het doel van het aanleveren van deze informatie is:

1. *Laten zien hoeveel deze pilotprojecten bijdragen aan kosteneffectieve broeikasgasreductie ten opzichte van gangbare betonmaatregelen;*
2. *In kaart brengen van eventuele bijeffecten van de pilotprojecten op andere milieuaspecten, zodat een broeikasgasreductie niet leidt tot een toename van de totale milieueffecten probleemverschuiving voorkomen kan worden;*
3. *Transparante en eenduidige monitoring.*

In de volgende paragrafen zal eerst kort beschreven worden welke procedure moet worden gevolgd om deze informatie aan te leveren. Vervolgens zal de opbouw van het document worden gegeven.

1.2. Procedure m.b.t. Klimaatvelop betonpilots

Iedere pilot levert een uitgewerkt informatiedossier op basis van deze uitvraag. Dit dossier maakt aan de hand van berekeningen inzichtelijk hoeveel de pilot bijdraagt aan kosteneffectieve broeikasgasreductie. Ook wordt de totale milieueffecten inzichtelijk gemaakt. De berekeningen van milieueffecten en kosten worden goed onderbouwd, hierbij wordt duidelijk aangegeven;

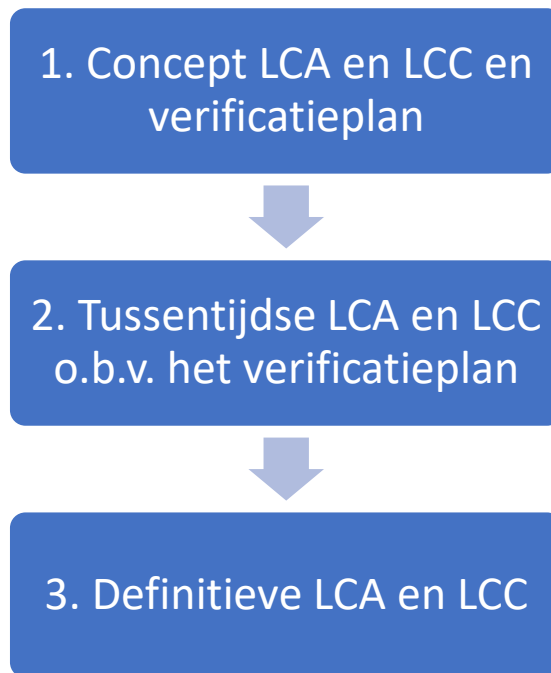
1. Welke databronnen voor de berekening zijn gebruikt (metingen, literatuur, expert judgement etc.)
2. Welke aannames zijn gedaan en op basis van wat deze aannames zijn gedaan (metingen, literatuur, expert judgement etc.)

De milieueffecten en kosten worden berekend over de hele levensduur van de betoninnovatie. Om de milieueffecten van betoninnovaties te laten zien wordt een levenscyclus analyse (LCA) gebruikt. De resultaten van de LCA worden gepresenteerd in de MilieuKostenIndicator (MKI) per functionele eenheid (bv. hoeveelheid beton benodigd voor een stoepteg). De Kosten effectiviteit wordt berekend aan de hand van de 'Life Cycle Costing' methode (LCC). De kosten worden gepresenteerd in Euro's per functionele eenheid. In de milieueffecten en kosten analyse wordt de betoninnovatie vergeleken met de gangbare betonmaatregelen. Met broeikasreductie wordt hier dus een reductie ten opzichte van de betonmaatregelen die op dit moment gangbaar zijn bedoeld, deze worden de referentiemaatregelen genoemd.

Het aanleveren van de informatie vanuit de pilots is een iteratief proces. In drie stappen wordt gekomen tot een uitgewerkt dossier met daarin definitieve LCA- en LCC-berekeningen (zie Figuur 1).

Voorafgaand aan de start van de pilots zal een concept berekening worden aangeleverd, hierbij zal ook een verificatieplan worden aangeleverd.

In dit verificatieplan zal worden aangegeven wat wanneer gemeten zal worden om tot een definitieve LCA- en LCC-berekening te komen. Op basis van het verificatieplan zal, gedurende de looptijd van de pilot, een tussentijdse LCA- en LCC-berekening gedaan worden. Na afsluiting van de pilots zal de definitieve LCA- en LCC-berekening worden opgeleverd en een compleet dossier worden opgeleverd.



FIGUUR 1 PROCES OM TE KOMEN TOT HET UITGEWERKT LCA- EN LCC-DOSSIER VOOR DE BETONINNOVATIES.

Het complete dossier bestaat uit de volgende elementen;

1. De LCA- en LCC-rapporten;
2. Het verificatieplan en verificatierapportage conform het plan;
3. Samenvatting van de gegevens in de tabellen van Bijlage 2.

1.3. Opbouw van dit document

Dit document is opgebouwd uit de volgende hoofdstukken:

- Hoofdstuk 2 beschrijft de algemene aanpak voor de LCA- en LCC-berekeningen.
- Hoofdstuk 3 beschrijft gedetailleerd welke informatie moet worden aangeleverd.

Daarnaast zijn er een aantal bijlages ondersteunend aan het aanleveren van informatie:

- Bijlage 1: Begrippen- en afkortingenlijst.
- Bijlage 2: Tabellen waarin een samenvatting van de LCA en LCC resultaten kan worden gegeven.
- Bijlage 3: Beschrijving van hoe recycling moet worden meegenomen in de LCA berekening.
- Bijlage 4: Ter inspiratie: mogelijke referenties.
- Bijlage 5: Samenvatting van invloedrijke factoren bij betoninnovaties.

2. Aanpak betoninnovaties: LCA, LCC en opschaalbaarheid

Om de milieueffecten van betoninnovaties te laten zien wordt een levenscyclusanalyse (LCA) gebruikt. De resultaten van de LCA worden gepresenteerd in de MilieuKostenIndicator (MKI) per functionele eenheid (bv. hoeveelheid beton benodigd voor één stoeptegels). Als basis voor de MilieuKostenIndicator wordt de SBK (Stichting BouwKwaliteit) bepalingmethode¹ gebruikt. Voorliggend document geeft verdere specificering voor de toepassing van de bepalingmethode voor de betoninnovaties. De Kosten effectiviteit wordt berekend aan de hand van de 'Life Cycle Costing' methode (LCC). De kosten worden gepresenteerd in Euro's per functionele eenheid. Naast de LCA en LCC informatie wordt ook aangegeven wat de opschaalbaarheid van de betoninnovaties is. Hierbij wordt ook aangegeven of er eventuele (bv. Juridische of technische) barrières zijn om de betoninnovaties toe te passen in de markt.

In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten besproken met betrekking tot de berekeningen voor kosteneffectieve broeikasgasreductie van betoninnovaties. In hoofdstuk 3 zal dan in meer detail besproken worden welke informatie precies moet worden aangeleverd.

2.1. Vergelijken ten opzichte van de Referentie

De reductie in kosten en milieueffecten worden bepaald door de betoninnovaties in de pilots te vergelijken met een referentie. Er is gekozen de verantwoordelijkheid voor het kiezen van de juiste referentie neer te leggen bij de piloteigenaren, vanuit de gedachte dat zij de beste inschatting kunnen maken met welk product hun betoninnovatie het meest vergelijkbaar is.

Beton is, aldus het Betonlexicon²: "Verhard mengsel van cement, grof en fijn toeslagmateriaal en water. Verder kunnen vulstoffen en hulpstoffen zijn toegevoegd. Beton ontwikkelt zijn eigenschappen door de hydratatie van cement." Er zijn veel verschillende typen cement beschikbaar en daardoor ook veel verschillende typen beton. De hoofdsoorten van cement zijn weergegeven in Tabel 1.

TABEL 1 HOOFDSOORTEN VAN CEMENT. BRON: BETONPOCKET 2016 (WWW.MEBIN.NL/NL/BETONPOCKET-ONLINE).

Hoofdsoort	Aanduiding	Toelichting
Portlandcement	CEM I	
Samengesteld portlandcement	CEM II	
Hoogovencement	CEM III (A-B-C)	Van A tot C: afnemend klinkergehalte
Puzzolaancement	CEM IV	
Composietcement	CEM V	

Volgens een inventarisatie van CE Delft³ in 2013 is gemiddeld 40% van het cement in Nederland Portlandcement. Er zit wel een groot verschil tussen de toepassingsgebieden: voor betonmortelproductie wordt relatief weinig portlandcement gebruikt en meer hoogovencement of andere cementsoorten; in betonproducten wordt iets meer portlandcement gebruikt dan andere cementsoorten. Deze cementsoorten verschillen sterk qua milieueffecten, wat betekent dat de specifieke toepassing en cementkeuze een grote rol spelen in de totale milieueffecten van beton. Het is dus erg belangrijk om de juiste referentie te kiezen.

¹ Stichting BouwKwaliteit [SBK], Bepalingmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken, versie 3.0, januari 2019.

² www.betonlexicon.nl

³ Bijleveld, Bergsma & Lieshout (2013). Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw. Status quo en toetsing van verbeteropties. CE Delft.

Het bepalen van de referentie begint bij het vaststellen van de functionele eenheid, oftewel datgene wat er vergeleken gaat worden. Dit kan bijvoorbeeld zijn “1 m² aan stoeptegels met een sterkte van xxx”, waarbij de referentie-stoeptegel een dikte van 40 mm heeft terwijl de innovatieve stoeptegel dikker kan zijn om dezelfde sterkte te halen, of dunner dankzij een slim ontwerp waarbij toch dezelfde sterkte gerealiseerd wordt.

Bij het vaststellen van de functionele eenheid en de referentie moet aandacht besteed worden aan afmetingen, sterkte, onderhoud en levensduur. De functionele eenheid wordt vaak beschreven per m³ beton of per m² betonproduct, maar kan ook een geheel product beslaan (bijv. voor de referentie: “1 stuks inspectieput 1200 x 1200 mm, wanden 150 mm, 1,75 m hoog”).

Voor levensduur wordt een tijdseenheid toegevoegd, hoeveel effect per jaar. Op deze manier kan je ook producten die verschillen in levensduur goed vergelijken. Als een product dan een levensduur heeft van 10 jaar worden de totale effecten gedeeld door 10. Als een product een levensduur heeft van 15 jaar deel je dus door 15 dus en worden de effecten per jaar vergeleken met een levensduur van bijvoorbeeld 10 jaar kleiner. Ter inspiratie voor het kiezen van de referentie is in Bijlage 4 een lijst opgenomen van beschikbare betonproducten in DuboCalc⁴.

Voor de onderbouwing van de milieueffecten en kosten van de betoninnovatie, dient gespecificeerd te worden op welke punten de betoninnovatie verschilt ten opzichte van de gekozen referentie, zowel in beschrijving als in berekening. Indien het niet mogelijk is om de veranderingen exact te kwantificeren, mag er ook een inschatting van de verandering in de milieueffecten en kosten ten opzichte van de referentie worden gemaakt. Deze inschatting dient in percentages (bijv. “-10%”) te worden gerapporteerd, inclusief toelichting waar deze percentages op gebaseerd zijn. In het volgende hoofdstuk wordt nader toegelicht wat er per levensfase meegenomen moet worden.

2.2. Startpunt: levenscyclusbenadering

Zowel het bepalen van milieueffecten als van kosten voor een betoninnovatie wordt uitgevraagd volgens de levenscyclusbenadering, waarbij de milieueffecten en kosten van wieg tot graf worden meegenomen. Figuur 2 illustreert hoe de levenscyclus van beton eruit kan zien. De levensfases zijn hierbij genummerd van A1 tot en met D, in lijn met de systematiek van de Nederlandse SBK Bepalingsmethode⁵.

Bij innovaties rondom recycling zijn er meerdere manieren om de milieueffecten over de hele levenscyclus te benaderen het kan beschouwd worden als:

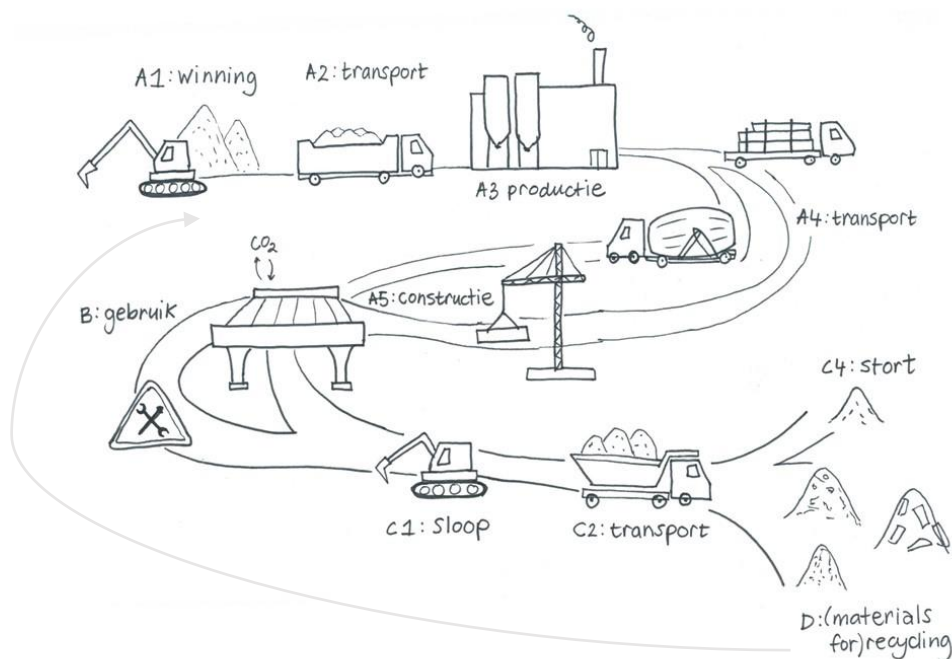
1. Een alternatieve vorm van afvalverwerking (C3+D).
2. Een alternatieve manier van nieuwe betonmengsels produceren (A1-A3).

Voor de pilots is besloten om het perspectief van de nieuwe producten te hanteren. De achtergrond van deze beslissing is toegelicht in Bijlage 3. Bij recycling begint fase A1: winning dus met het recyclen van beton. Daarna worden de fase doorlopen als geïllustreerd in Figuur 2.

Hoe dit in de LCA- en LCC-berekeningen toegepast moet worden, wordt in het volgende hoofdstuk toegelicht.

⁴ DuboCalc is een door RWS beheerde methode om de milieueffecten te berekenen van een materiaal of bouwwerk, deze is te vinden op de website: <https://www.dubocalc.nl/>

⁵ Stichting Bouwkwiteit [SBK], Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken, versie 3.0, januari 2019.



FIGUUR 2 LEVENSCYCLUS VAN BETON VOLGENS DE LEVENSFASE-INDELING VAN DE SBK BEPALINGSMETHODE EN DE DAARACHTER LIGGENDE STANDAARD EN 15804⁶. ©KOOTSTRA (2018).

De SBK Bepalingsmethode schrijft voor hoe de milieueffecten van een product of dienst berekend dienen te worden over de levenscyclus. Dit document is te vinden op de website van de nationale milieudatabase⁷. In voorliggend document wordt een verdere uitwerking van dit document voor betoninnovaties gegeven.

Voor de LCC-berekening zal dezelfde levenscyclusedeling gevolgd worden als voor de LCA. De LCC moet berekend worden op basis van de SSK-ramingsmethodiek⁸, waarbij de volgende uitgangspunten gehanteerd worden:

- We vragen (in dit stadium van innovatie) alleen (de verschillen in) de kostprijs per functionele eenheid.
- We hanteren prijspeil 1-1-2019.
- Vanwege meerdere redenen (communicatief, verschillende inzichten t.a.v. te hanteren discontovoet bij innovaties) laten we in dit stadium de netto contante waarde berekening achterwege, immers het gaat hier om een relatieve beoordeling. In een volgende fase kan de Netto Contante Waarde toegevoegd worden aan de berekeningsmethode.
- BTW-percentage is 21%, tenzij er redenen zijn om hiervan af te wijken.

2.3. Prioriteren op basis van effect

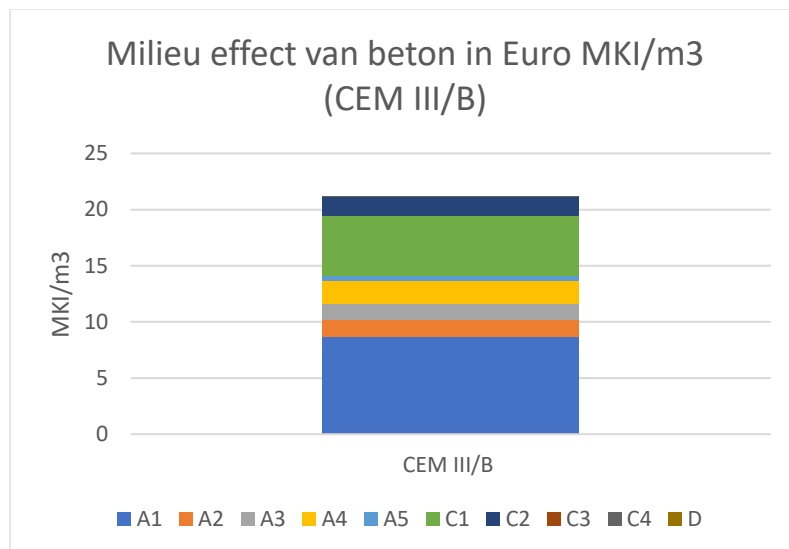
Bij een klassieke levenscyclusanalyse moeten veel details in kaart gebracht worden, wat een tijdrovend proces is. Niet ieder detail is echter even belangrijk. Dit wordt geïllustreerd door Figuur 3,

⁶ CEN (2013), NEN-EN 15804:2012+A1, Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products.

⁷ De SBK bepalingmethode die voor dit document als basis is gebruikt is te vinden op: <https://milieudatabase.nl/wp-content/uploads/2019/05/SBK-Bepalingsmethode-versie-3.0-1-januari-2019.pdf>

⁸ CROW, Standaardsystematiek voor Kostenramingen (SSK-2018).

waar de milieueffecten van een (illustratief) betonmengsel getoond wordt. In deze figuur is duidelijk te zien dat sommige levensfasen meer bijdragen aan de totale milieueffecten dan andere levensfasen. In dit voorbeeld dragen vooral grondstoffenwinning (A1) en sloop (C1) bij aan de totale milieueffecten van het beton. Dat betekent dat het vooral belang om de processen die in deze levensfasen spelen, voor dit product goed in kaart te brengen. Voor een ander type beton zullen de milieueffecten er anders uit zien, maar vrijwel altijd draagt de productiefase (A1-A3) veel bij aan de totale levenscycluseffecten.



FIGUUR 3 MILIEUEFFECT VAN 1 M³ BETON MET CEM III/B, OPGESPLITST IN BIJDRAGE PER LEVENSFASE (VERKLARING LEVENSFASES: SBK BEPALINGSMETHODE). DEZE FIGUUR DIENST ENKEL TER ILLUSTRATIE; VOOR ANDERE BETONSOORTEN ZAL DE BIJDRAGE PER LEVENSFASE ANDERS ZIJN. BRON: TNO.

Voor de pilots wordt een getrapte benadering voorgesteld, waarbij prioriteren op grote effecten centraal staat. Aan het begin van de pilots wordt gevraagd om een eerste inschatting te maken van de verschillen in milieueffecten en kosten van de betoninnovatie in vergelijking tot een referentie.

In Bijlage 5 zijn voor twee types betoninnovaties (geopolymeren en mechanische recycling) voorbeelden uitgewerkt voor het prioriteren op basis van effect.

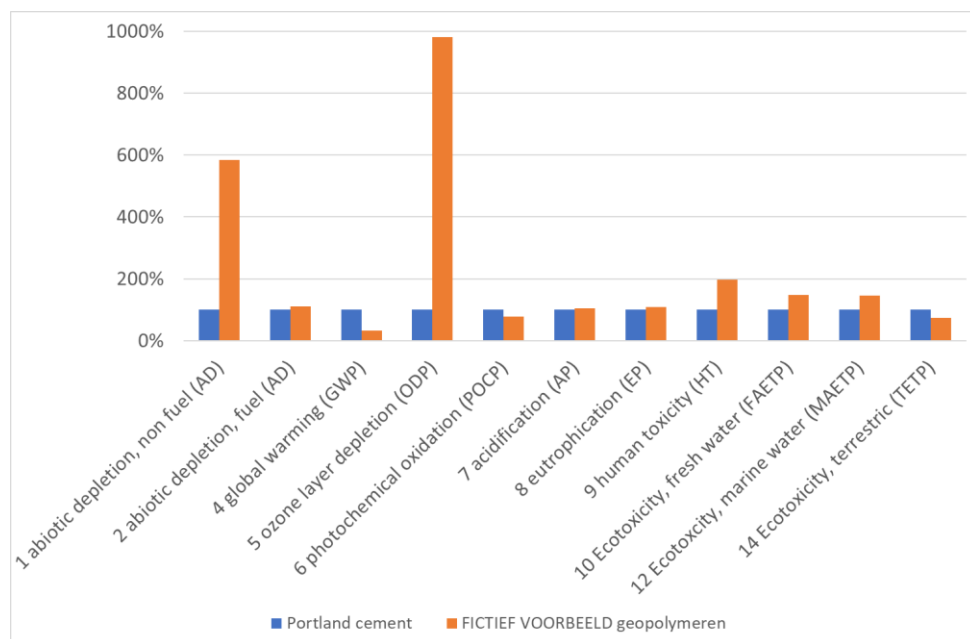
2.4. KPI's: Milieueffecten en Kosten

Voor kosteneffectieve broeikasgasreductie is het noodzakelijk om de (verandering in) kosten en de broeikasgasemissies (CO₂-eq.) in kaart te brengen. Wanneer we echter alleen naar broeikasgassen kijken, bestaat het risico dat het effect van een alternatief op andere milieuthema's onopgemerkt blijft. Figuur 4 illustreert dit risico met een **fictief voorbeeld**. Hierin worden voor een fictieve geopolymeer de relatieve milieueffecten weergegeven t.o.v. Portlandcement. De figuur laat zien dat de geopolymeer leidt tot een reductie van de broeikasgasemissies (GWP), maar leidt tegelijkertijd tot een stijging in andere milieueffecten.

Daarom moeten voor de betoninnovaties niet alleen de CO₂-eq. maar ook andere milieueffecten in kaart worden gebracht. Dit kan door middel van de Milieu Kosten Indicator (MKI), die de (gewogen) optelsom van 11 verschillende milieueffecten representeert. Hoe de MKI berekend kan worden is vastgelegd in de SBK bepalingmethode.

Voor het berekenen van de LCC volgen we de richtlijnen uit de SSK en passen deze op maat toe. Omdat uitgegaan wordt van een berekening voor betonproducten en niet voor bouwwerken, kunnen we de SSK slechts beperkt toepassen.

In hoofdstuk 4 wordt een verdere toelichting gegeven op de MKI- en LCC-berekening specifiek voor de betoninnovaties.



FIGUUR 4 FICTIEF VOORBEELD: HET BELANG VAN RAPPORTEREN VAN MEERDERE MILIEUEFFECTCATEGORIEËN.

2.5. Pilots: huidige stand van zaken en opschaalbaarheid

Voor de pilots geldt dat sommige betoninnovaties nog volop in ontwikkeling zijn. Dat betekent dat de milieueffecten en kosten van de betoninnovatie wellicht nog niet geoptimaliseerd zijn en dat er nog een ontwikkeling te verwachten is vanwege opschaling, efficiëntieverbetering en nieuwe inzichten.

Het is belangrijk om zowel inzicht te krijgen in de resultaten die met zekerheid berekend kunnen worden, als in het (realistisch inschatbare) potentieel. Daarom worden de indieners gevraagd naast de referentieberekening, twee berekeningen aan te leveren voor de pilot in het format van Bijlage 2 (zie verdere toelichting in hoofdstuk 4): één voor de huidige pilot, en één voor de situatie waarin de betoninnovatie volledig ontwikkeld is en vergelijkbaar functioneert met huidige markttoepassingen (>TRL 9⁹). In dit tweede geval gaat het niet om de projectspecifieke berekeningen (bijv.: de transportafstand van productielocatie naar bouwlocatie is voor een bepaalde pilot 83 kilometer) maar om generieke productinformatie (bijv.: als iedere betoncentrale in Nederland straks dit product kan maken, is de afstand tot een bouwlocatie gemiddeld circa 50 km).

⁹ Meer informatie over TRL's (Technology Readiness Levels) kan gevonden worden op de website van RWS: <https://rwsinnoveert.nl/uitleg-trl/uitleg-trl/> en op de website van Pianoo: www.pianoo.nl/sites/default/files/media/documents/Hoeinnovatiesinkopenindebouwengww-december2018.pdf.

3. Aan te leveren informatie voor de onderbouwing van milieueffecten en kosten

In dit hoofdstuk wordt toegelicht op welke manier de milieueffecten en de kosten over de hele levenscyclus aangeleverd en onderbouwd kunnen worden. Figuur 5 geeft een overzicht van de stappen die doorlopen moeten worden. Deze stappen worden eerst doorlopen voor de referentie, daarna voor de betoninnovatie en tot slot voor de betoninnovatie doorontwikkeld naar > TRL 9. Per stap staat aangegeven in welke paragrafen toelichting te vinden is en welk onderdeel van Bijlage 2 moet worden ingevuld.



FIGUUR 5 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN AAN TE LEVEREN INFORMATIE VOOR DE ONDERBOUWING VAN LCA EN LCC.

Er dient specifieke onderbouwing aangeleverd te worden voor alle levenscyclusfases (A1-D). Bij voorkeur moet zoveel mogelijk getracht worden dezelfde basisdata te gebruiken voor de LCA als voor de LCC (bijv. massa's).

Transparantie van de onderliggende berekeningen is van groot belang voor de opdrachtgever om de resultaten op waarde te kunnen schatten. Voor dat doel beschrijven de volgende paragrafen, in aanvulling op de SBK Bepalingsmethode en de SSK-ramingsmethodiek, welke informatie ondersteunend is ten behoeve van een transparantie in de CO₂- en MKI-reductieclaim en de levenscycluskosten. In het algemeen wordt u verzocht aannames en onzekerheden in de berekening expliciet te vermelden, ook wanneer u er niet expliciet om gevraagd wordt. Wanneer u beschikt over informatie over bandbreedtes of variabiliteit, geef dit dan aan.

3.1. De Referentie:

- Vermeld in Tabel 1 van Bijlage 2 met welke bestaande toepassing van beton vergeleken gaat worden.
- Beschrijf hierbij een functionele eenheid die rekening houdt met de afmetingen, sterkte, onderhoud en levensduur van de referentie.

3.2. Onderbouwing voor fase A1 + A2: samenstelling en transport

De samenstelling van het betonmengsel kan worden ingevoerd in Tabel 2 van Bijlage 2.

- Vermeld de samenstelling van het referentiebetonmengsel. In navolging van de PCR voor (prefab) betonproducten¹⁰, vermeld welke grondstoffen in het mengsel zitten en zo ja in welke hoeveelheid.
- Vermeld vervolgens op welke onderdelen de betoninnovatie afwijkt van de referentie. Indien er andere grondstoffen gebruikt worden, vermeld het milieuprofiel van deze stoffen en de bronvermelding. Ook materialen die onder de cut-off grens¹¹ van de SBK Bepalingsmethode vallen, moeten vermeld worden.
- Indien er materialen aan het mengsel toegevoegd worden waarover geen milieu-informatie beschikbaar is in de NMD, dient de inschrijver aan te geven op basis van welk ander materiaal het milieuprofiel is ingeschat en welke bron daar voor is gebruikt; bijvoorbeeld een milieuprofiel uit de Nationale Milieudatabase (versie 3.0) of berekend op basis van data in ecoinvent (versie 3.4). Als de inschrijver niet weet welk materiaal representatief is voor het milieueffect, moet de CO₂-/MKI-bepaling berekend worden op basis van een mix van organische chemicaliën uit de ecoinvent-database (versie 3.4: "Chemical, organic {GLO} | production | Cut-off").
- Vermeld per grondstof het transportmiddel en de afstand tot de betoncentrale voor de grondstoffen in de referentie. Vermeld vervolgens de afstanden voor de betoninnovatie.
- Vermeld per grondstof de kosten per kilogram en bereken de kosten per functionele eenheid. Deze kosten bevatten de aanschaffkosten en het transport naar de betoncentrale.
- Bij gebruik van biobased materialen wordt aangegeven of ze (1) gewonnen worden uit gewassen die ook geschikt zijn voor voedsel (vaak aangeduid als 1^e generatie) of (2) uit afvalstoffen die niet geschikt zijn voor voedselconsumptie (vaak aangeduid als 2^e generatie) of (3) een andere herkomst hebben (zoals geproduceerd door micro-organismen etc.).
- Bij gebruik van biobased materialen dient voor berekening van CO₂-emissie en/of de MKI de procedure gevolgd te worden zoals beschreven in de SBK Bepalingsmethode¹².

¹⁰ NEN-EN 16757. Sustainability of construction works - Environmental product declarations – Product Category Rules for concrete and concrete elements.

¹¹ Zie voor meer informatie over buiten beschouwing laten van input en output: paragraaf 2.6.3.5 van de SBK Bepalingsmethode.

¹² Zie paragraaf 2.6.4.1. – biomassa in de SBK Bepalingsmethode.

Dit houdt in dat koolstofvastlegging genoteerd wordt als biogene CO₂ en daarmee niet meetelt voor de CO₂-berekening omdat verondersteld wordt dat deze CO₂ uiteindelijk, aan het einde van de levensduur van het product, weer in de atmosfeer terecht komt en in feite slechts korte tijd is vastgelegd ("kortcyclisch"). Indien aangetoond kan worden op basis van proeven en ander technisch bewijs dat de CO₂ blijvend is vastgelegd in het betonproduct, mag de CO₂-vastlegging worden meegenomen in de berekening van de CO₂-effecten. In deze berekening moet worden meegenomen dat een deel van de koolstof in de levenscyclus vrijkomt (bijv. in de vorm van roetdeeltjes bij verbranding, emissie bij degeneratie van het beton of door uitloging).

- Koolstofvastlegging door middel van carbonatie moet buiten beschouwing gelaten worden voor zowel de referentie als de betoninnovatie. In het verleden zijn soms LCA's opgesteld waarbij carbonatie in de productiefase gemodelleerd is; het is van belang om te controleren of dit bij de gekozen referentie het geval is, en deze CO₂-vastlegging uit de LCA te verwijderen als dit het geval is.

3.3. Onderbouwing voor fase A3 Productie

De productie van het referentiebeton moet vergeleken worden met de betoninnovatie. Hierbij dienen afwijkingen vermeld, onderbouwd en gekwantificeerd te worden in Tabel 3 van Bijlage 2. Aandachtspunten hierbij zijn, zowel voor LCA als voor LCC:

- Zijn er andere installaties nodig om het innovatieve beton te produceren?
- Verandert het energieverbruik per ton geproduceerd beton? Is er bijvoorbeeld thermische curing nodig?

Geef voor de referentie en voor de innovatie bij afwijkingen de volgende kosten aan:

- Kosten per m³ betonmengsel x benodigd aantal m³ betonmengsel per functionele eenheid (dit is al berekend in fase A1/A2).
- Energiekosten (hoeveelheid benodigd energie per functionele eenheid x energieprijis).
- Afschrijvings- of huurkosten installatie per jaar / aantal functionele eenheden productie per jaar.
- Arbeidskosten per functionele eenheid.
- Eventuele andere significante kosten.
- Marges en opslagen.

Dit vormt de onderbouwing voor de kostprijs van een product per functionele eenheid.

3.4. Onderbouwing voor de andere levensfasen (A4-D)

Onderbouw in Tabel 3 per levensfase of en zo ja hoe, de betoninnovatie afwijkt ten opzichte van de referentie wat betreft:

- Transport naar het werk (A4) en aanleg (A5): andere vorm van transport en/of aanleg? Zijn er andere transportafstanden te verwachten? (bijv. minder betoncentrales die gerecycled materiaal/geopolymeren kunnen verwerken, dus langere transportafstanden?) Zolang het nog pilots betreft is te verwachten dat de afstand langer is dan bij de referentie, geef in Tabel 3c aan hoe groot de afstand zal zijn als de betoninnovatie op grotere schaal wordt toegepast.
- Gebruik & onderhoud/instandhouding (B):
 - Kan er uitloging optreden? Is dit getest? (Vereiste Besluit bodemkwaliteit)

- Is er een of andere vorm van onderhoud nodig? Kunnen de kosten van dit onderhoud, bijv. materiaal- en arbeidskosten, ingeschat worden?
- Einde levensduur (C): zelfde sloop- en afvoerproces te verwachten? Zorgt de betoninnovatie voor complicaties bij sloop?
- Recycling (D): in welke toepassingen kan het gerecycled worden? Zelfde als referentie? Verwachte kwaliteit over 100 jaar?
- Voor gerecycled beton: hoeveel reactief materiaal is er nog over na de eerste levenscyclus? Maak hoeveelheden inzichtelijk!

3.5. Onderbouwing opschaalbaarheid

Het is belangrijk om zowel inzicht te krijgen in de (realistisch inschatbare) opschaalbaarheid en in de verwachte veranderingen in de toekomst bij de doorontwikkeling tot marktpenetratie (>TRL9).

Daarom worden de indieners gevraagd om het volgende in Tabel 4 van Bijlage 2 aan te geven;

- Wat het totale jaarlijkse volume van de toepassing (bv. Aantal stoeptegels) is bij volledige marktpenetratie? Ofwel in welk percentage van de markt kan de betoninnovatie als het TRL9 is, worden toegepast. In hoeverre worden er veranderingen in de processen in levenscyclus verwacht t.o.v. de processen in de pilot? Hoe werken die veranderingen door op de kosten, MKI en CO₂-emissies?
- Kan de betoninnovatie in een ander product toegepast worden dan het product van de pilots (bv. in een constructie van een brug i.p.v. stoeptegels)? In hoeverre verschilt het productieproces van de andere toepassingen met de huidige toepassing?

Niet alle betoninnovaties bereiken de markt. Om een transparant beeld te krijgen van de kansrijkheid van betoninnovaties is het belangrijk na te denken over factoren die belangrijk zijn om de stappen van pilot of demonstratieproject naar de markt te doorlopen. Het gaat om verwachtingen van toekomstige ontwikkelingen: daar is geen 100% zekerheid over te geven (dan zou er immers geen pilot meer nodig zijn). Het benoemen van de benodigde stappen helpt om meer inzicht in kansen en mogelijkheden te krijgen. Bij de monitoring van de kentallen willen we daarom ook oordelen van de bedrijven over belangrijke factoren die toekomstig succes bepalen of onderzoek vereisen. Het gaat daarbij om:

- Verbeteringen van de technologie, testen en kostenverlaging (TRL);
- Maatschappelijke issues.

De volgende vragen kunnen daarbij kwalitatief beantwoord worden:

- Welk technologisch onderzoek is nog nodig om de betoninnovatie naar TRL 9 te brengen en hoe veel tijd dit gaat kosten?
- Wat zijn de cruciale succesfactoren bij de praktijktesten?
- Is een kostenverlaging nodig om toe te treden tot de markt?
- Welke ontwikkelingen kunnen tot kosten verlaging leiden?
- Is er aanpassing van wet- en regelgeving nodig om het product in de beoogde toepassing toe te passen?
- Hoe is de maatschappelijke acceptatie van het product in de toepassing (Not in my back yard NIMBY- factoren)?
- Zijn er veiligheidsrisico's (in het productieproces) van het product in de toepassing anders dan de huidig toegepaste producten?
- Is opleiding/omscholing van personeel nodig?
- Heeft het product in de toepassing effect op arbeidsomstandigheden?

3.6. Verificatieplan en rapportage

Zoals eerder gesteld wordt het pilotdossier (zie paragraaf 1.2) opgesteld in 3 stappen. Bij de initiële berekeningen bij de start van de pilot zullen waar nodig aannames worden gedaan, omdat onvoldoende data beschikbaar is. Tijdens de pilots kunnen voor de meest relevante en onzekere processen aannames vervangen worden door metingen, zodat de definitieve berekening goed vast kan stellen wat de milieueffecten en kosten zijn.

In Tabel 2 en Tabel 3 van Bijlage 2 wordt drie zaken aangegeven rondom de verificatie:

1. Welke additionele metingen worden gedaan
2. Hoe deze metingen worden gedaan
3. Hoe vaak deze metingen worden gedaan

Op basis hiervan wordt een verificatieplan opgesteld. Volgens het verificatieplan worden metingen gedaan, die vast worden gelegd in een rapportage.

Bijlage 1 Begrippen- en afkortingenlijst

Begrip	Afkorting	Toelichting
Activator		Stof die een andere stof werkzaam maakt, of een proces in gang zet. De activator is één van basiscomponenten van een geopolymeer (bijvoorbeeld waterglas [natriumsilicaat] of natriumhydroxide); de andere basiscomponent is de <i>precursor</i> .
Beton		Verhard mengsel van cement, grof en fijn toeslagmateriaal en water. Verder kunnen vulstoffen en hulpstoffen zijn toegevoegd. Beton ontwikkelt zijn eigenschappen door de hydratatie van cement
Biobased materialen		Materialen die bestaan uit natuurlijke/organische grondstoffen (veelal afkomstig land-/bosbouw)
Biogene CO ₂		CO ₂ -emissies uit biomassa (niet-fossiele brandstoffen)
CO ₂ -equivalenten	CO ₂ -eq.	De totale uitstoot aan broeikasgassen omgerekend naar de bijdrage aan het broeikaseffect dat CO ₂ heeft. Meestal volgens de waarden die het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) heeft vastgesteld, bijvoorbeeld 25 kg CO ₂ -eq voor 1 kg methaan.
Economische allocatie (LCA)		Het verdelen (alloceren) van milieu-impact naar de economische waarde van de stromen. Bijvoorbeeld bij het raffineren van aardolie, de vrijkomende producten zoals benzine en diesel elk hun deel van de milieu-impact toekennen op basis van de economische onderlinge verhoudingen. Bij mechanisch recyclen zal de totale milieu-impact van het proces verdeeld moeten worden over de economische waarde van de vrijgekomen stromen (secundair zand, grind en cement).
Functionele eenheid	F.E.	Rekeneenheid die de basis vormt voor een LCA. Alle effecten worden teruggerekend naar deze eenheid. De eenheid beschrijft de te vervullen functie van het onderwerp van studie. Bij een goede vergelijkende LCA kan deze functie dus vervuld worden door alle vergeleken producten.
Geopolymeer		verzamelnaam voor alkali geactiveerde aluminiumsilicaten. Het zijn anorganische bindmiddelen.
Geopolymeerbeton		Beton met geopolymeer als bindmiddel i.p.v. cement
Hoogovencement		Gemalen hoogovenslakken, bijproduct uit ijzerproductie. Reageert sneller bij hogere temperaturen, juist langzamer bij lagere temperaturen ten opzichte van portlandcement. Is bovendien beter bestand tegen invloeden van chloriden en sulfaten. Vaak gedefinieerd als CEM III.

Begrip	Afkorting	Toelichting
Levensduur		De tijdsduur waarover een installatie of product gebruikt kan worden. Bijvoorbeeld bij een betonnen brug wordt (meestal) uitgegaan van een levensduur van 100 jaar. Bij een installatie gaat men meestal uit van een X aantal jaar bij een productie van X ton per jaar. Dit heeft niet te maken met de economische levensduur (periode van afschrijving), die vaak korter is.
Levenscyclusanalyse (Milieugericht)	LCA	Methode om milieueffecten van een bepaald product over de gehele keten (van grondstoffenwinning tot afdanking) op een gestructureerde en transparante manier in beeld te brengen en te beoordelen
Life Cycle Cost [analyse]	LCC	Methode om de economische kosten van een bepaald product over de gehele keten (van grondstoffenwinning tot afdanking) op een gestructureerde manier in beeld te brengen en te beoordelen.
Mechanisch gerecycled beton		Beton waarin mechanisch gerecycled zand, grind en/of cement wordt gebruikt.
Milieueffect		Milieueffecten zoals bedoeld in de SBK Bepalingsmethode
Milieueffect(categorieën)	ADP GWP ODP AP EP POCP	De gevolgen van een stof, proces of handeling op de leefomgeving (op lange termijn), meestal richting een bepaald aspect van het milieu. We spreken bijvoorbeeld over het milieueffect klimaatverandering. Zie ook de toxiciteitscategorieën. Abiotic Depletion (uitputting abiotische grondstoffen in kg Sb-eq.) Global Warming Potential (Klimaatverandering in kg CO ₂ -eq.) Ozone Depletion Potential (Ozonlaag aantastingspotentieel in kg CFK-11 eq.) Acidification Potential (Verzuring in kg SO ₂ -eq.) Eutrophication Potential (Vermesting in kg PO ₄ -eq.) Photo-Oxidant Creation Potential (Fotochemische oxidantvorming (smogvorming) in C ₂ H ₄ -eq.)
MilieuKostenIndicator	MKI	Indicator waarmee de verschillende milieueffecten tegen elkaar opgewogen en vertaald worden naar één cijfer die de maatschappelijke kosten voor deze effecten weergeeft (in euro's). Dit zijn de kosten die gemaakt zouden moeten worden als de negatieve milieueffecten van het product moeten worden vermeden met daarvoor reguliere oplossingen.

Begrip	Afkorting	Toelichting
Nationale Milieudatabase	NMD	Voor het berekenen van de milieuprestatie van gebouwen, bouwwerken en GWW-werken volgens de SBK bepalingmethode is het usance dat daarbij gebruik wordt gemaakt van geborgde milieurelevante materiaal- en productinformatie uit de NMD. Zonder de combinatie van SBK bepalingmethode en NMD is er geen sprake van eenduidigheid in het rekenresultaat. Ontwerpers, toeleveranciers en opdrachtgevers gebruiken daarmee binnen een gelijk speelveld dezelfde informatie en spreken daardoor voortaan dezelfde taal.
Portlandcement		Gemalen (Portland) klinker, geproduceerd door het sinteren (verhitten tot net niet het smeltpunt) van voornamelijk klei en kalksteen. Portlandklinker is typisch 3-25 mm. CEM I bevat minimaal 95% portlandcement.
Precursor		Uitgangsstof; in het geval van geopolymeren is dit het reactieve aluminium- en siliciumhoudende hoofdbestanddelen (bijv. vliegash, hoogovenslak of metakaolien)
Product Category Rules	PCR	Specifieke LCA-rekenregels voor een bepaalde productgroep, in aanvulling op bredere LCA-standaarden zoals ISO14040, EN15804 en SBK Bepalingmethode
Standaardsystematiek voor kostenramingen	SSK	
Stichting Bouwkwiteit	SBK	SBK heeft als doel de integrale kwaliteitszorg in de bouw te stimuleren en te bevorderen en de certificatie en attestering in de bouwsector te coördineren en te harmoniseren.
Technology Readiness Level	TRL	Maatstaf voor de technologische ontwikkelingsstatus van een product/dienst, lopend van 1 tot 9. Meer informatie over TRL's (Technology Readiness Levels) kan gevonden worden op de website van RWS: https://rwsinnoveert.nl/uitleg-trl/uitleg-trl/ en op de website van Pianoo: www.pianoo.nl/sites/default/files/media/documents/Hoeinnovatiesinkopenindebouwengww-december2018.pdf .
Toxiciteitscategorieën: Humane toxiciteit Zoetwater ecotoxiciteit Zoutwater ecotoxiciteit Terrestrische ecotoxiciteit	HTTP FAETP MAET TETP	(Human toxicity) (Fresh water ecotoxicity) (Marine water ecotoxicity) (Terrestrial ecotoxicity)
Uitvoeringsrichtlijn	URL	Document waarin uitvoeringstechnieken, methoden en technische specificaties van materialen staan beschreven die te maken hebben met het uitvoeren van bepaalde werkzaamheden of het maken van een product

Begrip	Afkorting	Toelichting
Verwerker		Bedrijf dat afvalstromen die vrijkomen bij de sloop nuttig toepast of verwijderd. In het kader van dit project wordt meestal bedoeld; het beton dusdanig verwerken totdat het opnieuw toegepast kan worden als secundaire grondstof (bv. betongranulaat).
Vulstof		Inerte (minerale) dan wel pozzolane of (latent) hydraulische stoffen, meestal fijner dan 63 μm , waarmee de ruimten tussen de toeslagstoffen worden gevuld. Vulstoffen worden aan beton toegevoegd ter aanvulling van de hoeveelheid fijn materiaal of vanwege hun bijdrage aan de sterkteontwikkeling.

Bijlage 2 Format voor indienen LCA- en LCC-berekeningen

Bijgevoegd Excelbestand behorend bij de toelichting in hoofdstuk 3 dient ingevuld te worden per functionele eenheid voor de referentie en de betoninnovatie. De tabellen voor de betoninnovatie moeten tweemaal ingevuld worden: eenmaal voor de berekeningen in de pilotfase en eenmaal voor de berekeningen op basis van de toekomstige situatie (>TRL 9). Voor fase A4 tot en met D kunnen dezelfde waarden gehanteerd worden als voor de referentie, tenzij onderbouwd kan worden waarom en hoe deze waarden veranderen voor deze innovatie, bijvoorbeeld wanneer aanlegprocessen voor de innovatie anders zijn dan voor de referentie.



Bijlage%201%20for
mat%20voor%20indi

Dit excellbestand bestaat uit de volgende tabbladen:

- Tabel 1 (zie hst. 3.1): Referentie.
- Tabel 2 (zie hst. 3.2): Input voor fase A1 Grondstoffenwinning en A2 Transport van bronlocatie naar betoncentrale:
 - Tabel 2a Input fase A1-A2 Referentie
 - Tabel 2b Input fase A1-A2 Betoninnovatie
 - Tabel 2c Input fase A1- A2 Betoninnovatie ontwikkeld tot TRL 9.
- Tabel 3 (zie hst 3.3, 3.4): uitkomsten van de LCA- en LCC-berekeningen (CO₂, MKI en kosten), verdeeld over de levenscyclus:
 - Tabel 3a KPI's fase A1-D Referentie
 - Tabel 3b KPI's fase A1-D Betoninnovatie
 - Tabel 3c KPI's fase A1- D BetonInnovatie ontwikkeld tot TRL 9.
- Tabel 4 (zie hst 3.5): Opschaalbaarheid.
- Tabel 5: Samenvattend overzicht.

Bijlage 3 Milieueffecten van recycling en opwerking van betonafval in beeld

Waarom deze bijlage

Wanneer een bouwwerk aan het eind van de levenscyclus gesloopt en verwerkt wordt door middel van recycling, ontstaan zogeheten *secundaire* grondstoffen die opnieuw ingezet kunnen worden in, onder andere, nieuw beton. Hierdoor zijn minder ruwe oftewel *primaire* grondstoffen nodig om nieuwe producten mee te maken en wordt de belasting op het milieu lager. De milieueffecten die zodoende vermeden wordt, kunnen inzichtelijk gemaakt worden de LCA-berekeningen. In de SBK Bepalingsmethode is vastgelegd hoe dit voor Nederlandse LCA's van bouwproducten in kaart gebracht moet worden.

Onder invloed van Europa heeft Nederland recent een aanpassing in de SBK bepalingmethode geïntroduceerd t.a.v. de manier waarop de credits van recycling dienen te worden berekend. Volgens deze methode zijn secundaire grondstoffen 'burden free' inzetbaar om er nieuwe producten mee te maken, oftewel er worden geen milieueffecten geassocieerd met de "productie" van deze secundaire grondstoffen. De milieueffecten die veroorzaakt worden door het opwerken van het betonafval tot secundaire grondstoffen (bijvoorbeeld door mechanische recycling), moeten meegenomen worden in de LCA van het bestaande bouwwerk (wat aan het eind van zijn levensduur is). De "burden" voor het opwerken komt dus geheel te liggen bij het bestaande bouwwerk, terwijl degene die nieuwe producten maakt waarin secundaire grondstoffen verwerkt zijn, een lager milieueffect heeft dan reguliere producten die bestaan uit primaire grondstoffen.

Voor de klimaatenvlop pilots willen we inzicht krijgen in de milieueffecten van opwerkingstechnieken zoals mechanische recycling en tegelijkertijd inzicht krijgen hoe de milieueffecten van producten met de secundaire grondstoffen uit innovatieve opwerkingstechnieken zich verhoudt tot betonnen producten die niet met deze secundaire grondstoffen geproduceerd zijn. Bovendien willen we de informatie zo beschikbaar krijgen dat die ook in de toekomst te updaten is naar de laatste stand van de methodologie. Daarom willen we voor deze pilots meer in kaart brengen dan wat er door de SBK Bepalingsmethode voorgeschreven wordt. Het gaat hierbij dus om een aanvulling en niet een afwijking ten opzichte van de huidige rekenregels.

In deze bijlage beschrijven we welke verschillende manieren er zijn om de effecten van recycling in kaart te brengen, opdat voor alle betrokkenen van de klimaatenvlop pilots transparant is dat er geen informatie verloren gaat en de aanpak naar de toekomst toe robuust is voor wijzigingen in de methodiek.

Verschillende manieren om recycling in kaart te brengen

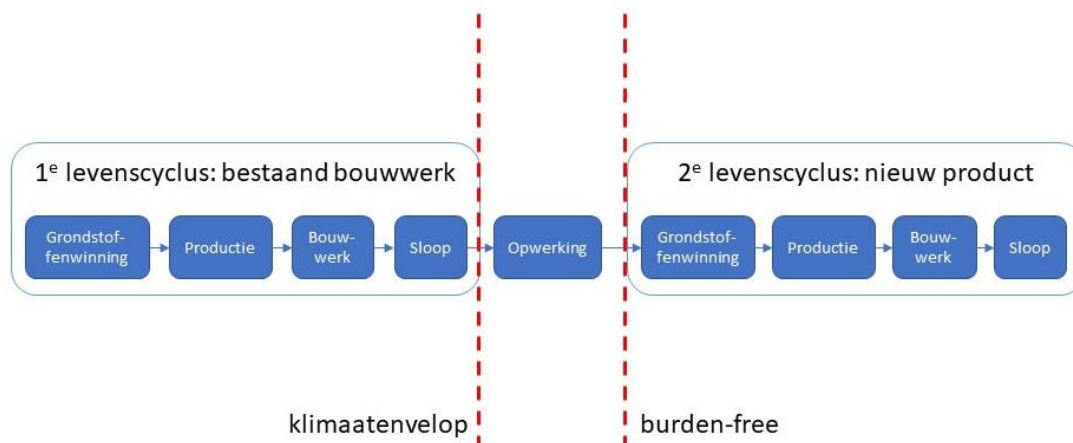
Er zijn verschillende manieren waarop de milieueffecten (bijv.: milieueffecten van energiegebruik) en milieuvoordelen (bijv. vermijden van grondstoffenwinning) van recycling meegenomen kunnen worden in LCA. Al deze manieren zijn te onderscheiden in twee perspectieven, met een verschil in focus:

- 1) Focus op de eerste levenscyclus (een bestaand product op basis van primaire grondstoffen wat gesloopt wordt) en de "nuttige" afvalverwerking: maak het milieuvoordeel van recyclen inzichtelijk aan het eind van de levenscyclus van het bestaande product ("module D"). In module D wordt berekend welke producten "vermeden" worden dankzij dit recyclingsproces; de milieueffecten van deze vermeden producten levert een negatief milieueffect voor module D op en verlaagt daarmee de effecten van het product over zijn hele levenscyclus.

De milieueffecten die veroorzaakt worden door de recycling, moeten meegenomen worden aan het eind van de levenscyclus. Zowel de milieuvordelen als de milieueffecten van de recycling worden zodoende aan de eerste levenscyclus toegerekend. Het materiaal wat gerecycled wordt, krijgt in de tweede levenscyclus geen milieueffect meer toegekend: “free of burden”. Deze manier van rekenen wordt voorgeschreven in de meest recente versie van de SBK bepalingmethode.

- 2) Focus op de tweede levenscyclus (een nieuw product waarin secundair materiaal gebruikt wordt) en breng de verwerkingsprocessen onder in deze nieuwe levenscyclus (module A). De eerste levenscyclus stopt zodra het “afval” is afgevoerd naar de verwerker; er worden geen verwerkingsprocessen in rekening gebracht van de eerste levenscyclus, maar er wordt ook geen milieuvoordeel toegekend. De verwerkingsprocessen worden meegerekend in de productiefase (module A) van de tweede levenscyclus. In feite volgt deze methode tot en met de sloopfase (C1) dezelfde aanpak als de eerste methode, maar voegt daarna iets toe aan de tweede levenscyclus in plaats van aan de eerste levenscyclus.

Het verschil tussen deze perspectieven is gevisualiseerd in Figuur 6. De innovatieve recyclingmethoden van de klimaatenvlop pilots bevinden zich precies tussen de twee levenscycli in; het verwerkt het beton dat vrijkomt bij de sloop van bouwwerken en dat wordt toegepast in nieuwe producten.



FIGUUR 6 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE VERSCHILLENDE MANIEREN WAAROP DE RECYCLINGEFFECTEN BEREKEND KUNNEN WORDEN: IN DE EERSTE OF IN DE TWEEDE LEVENSCYCLUS.

Voorgeschreven methode voor de klimaatenvloppilots

Voor de klimaatenvloppilots willen we inzicht krijgen in de milieueffecten van recyclings- en opwerkingstechnieken en tegelijkertijd ook inzicht krijgen hoe de milieueffecten van producten met de secundaire grondstoffen uit innovatieve opwerkingstechnieken zich verhoudt tot betonnen producten die niet met deze grondstoffen geproduceerd zijn. Methode 1 heeft dan een aantal nadelen. Ten eerste brengt methode 1 de volledige levenscyclus in kaart van het bouwwerk wat gesloopt wordt t.b.v. recycling, terwijl we niet op zoek zijn naar inzicht in deze effecten. Ten tweede hebben de secundaire producten invloed op de samenstelling van het beton in de nieuwe levenscyclus; de secundaire producten zijn niet identiek aan de conventionele primaire producten. Kort gezegd: 1 kg mechanisch gerecyclede fijne fractie vervangt niet 1 kg cement maar vraagt om een aangepast betonrecept in de tweede levenscyclus. Deze aanpassing is alleen via kunstgrepen inzichtelijk te maken in module D bij Methode 1 (zgn. system expansion), wat de transparantie en robuustheid van de resultaten niet ten goede komt.

Een andere optie is om de secundaire producten te modelleren in module A bij Methode 1, maar dan zijn de secundaire producten burden-free en zien we de effecten van het innovatieve recyclingsproces niet meer. Samengevat hebben we onder methode 1 twee levenscycli te modelleren - die van het te slopen bouwwerk en die van het nieuwe product - om de effecten van de klimaatvelop pilots in beeld te krijgen.

In methode 2 hoeft dit allemaal niet; we starten het inzicht in de milieueffecten bij de recycling/opwerking van het uit sloop vrijgekomen beton en vergelijken de effecten van de producten die gemaakt worden uit de secundaire grondstoffen met de milieueffecten van andere functioneel gelijke producten. In de eerste workshop met de bedrijven die de pilots uitvoeren werd bevestigd dat deze methode het meest natuurlijk aansluit bij wat de bedrijven doen – en dat bevordert de dataverzameling en -analyse.

Wanneer we de gegevens volgens methode 2 verzamelen, dan is het op termijn goed mogelijk om het inzicht dat daaruit komt toe te rekenen aan de twee levenscycli uit methode 1, namelijk die van het te slopen bouwwerk en die van de nieuwe bouwproducten – zodat de berekening aansluit bij de meest recente versie van de SBK bepalingmethode. Methode 1 en 2 verschillen immers alleen waar de knip wordt gelegd voor het toewijzen van de recyclingsprocessen.

Samengevat levert methode 2 op dat we nu alleen de informatie verzamelen die voor de klimaatvelop pilots relevant is (en niet meer) en die in de toekomst relevant blijft onder de rekenregels van de nieuwe SBK bepalingmethode (module D).

Bijlage 4 Ter inspiratie: mogelijke referenties

Tabel 2 toont de mogelijke referenties die beschikbaar zijn in DuboCalc 5.1, ter inspiratie voor het bepalen van de referenties van de pilots. Indien onderstaande referenties niet voldoen, is het ook toegestaan om zelf een referentie voor te stellen, mits onderbouwd waarom dit noodzakelijk is.

TABEL 2 MOGELIJKE REFERENTIES VOOR BETONPRODUCTEN IN DUBOCALC V5.1.

Product	Functionele eenheid	Voorbeeld(en) van varianten uit DuboCalc
Betonband	1 m	Klein (100*200mm) Middel (200*250mm) Groot (300*240mm) Inrit (500*230mm) RWS (115*250mm)
Betonmortel	1 m3	C12/15 (CEMI) C12/15 (CEMIII) C20/25 C20/25 20% betongranulaat Onderwaterbeton Schuimbeton
Betonbuis	1 m	Klein (diameter 400mm) Middel (diameter 800mm) Groot (diameter 1000mm)
Betontegels/stenen	1 m2	BSS dikformaat 80mm dik BSS keiformaat 80mm dik BSS waalformaat 80mm dik Dikke tegel 300*300*80mm Normale tegel 300*300*45mm
Betonelementen	1 ton	Hydrobloks Duiker
Betonelementen	1 m3	Heipaal
Betonelementen	1 stuks	Prefab inspectieput (bv. 800*800mm; 150mm wand; 1,5 m hoog)
Betonelementen	1 m2	Prefab plaat (2000*2000*140mm)

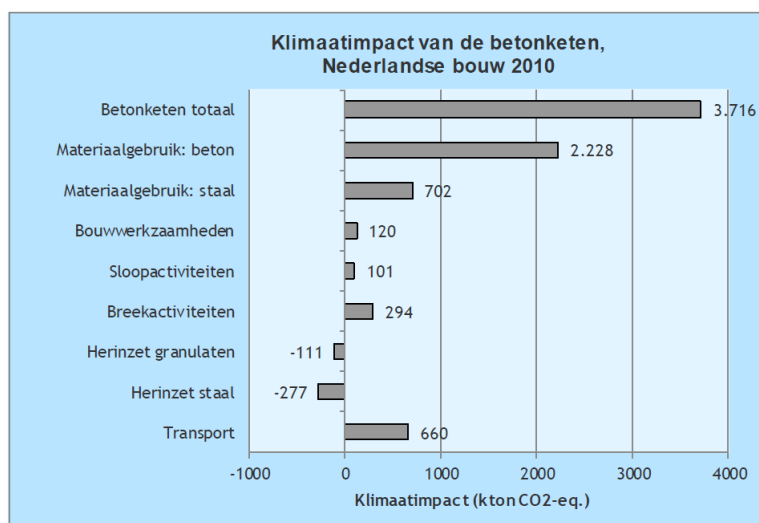
Bijlage 5 Invloedrijke factoren in de LCA en LCC

In deze bijlage lichten we toe welke factoren mogelijk invloedrijk zijn in de LCA en LCC van beton aan de hand van twee cases met relevante betoninnovaties: (1) geopolymereen en (2) mechanische recycling.

De cases worden voorafgegaan door een algemene introductie over de milieueffecten van beton in de keten.

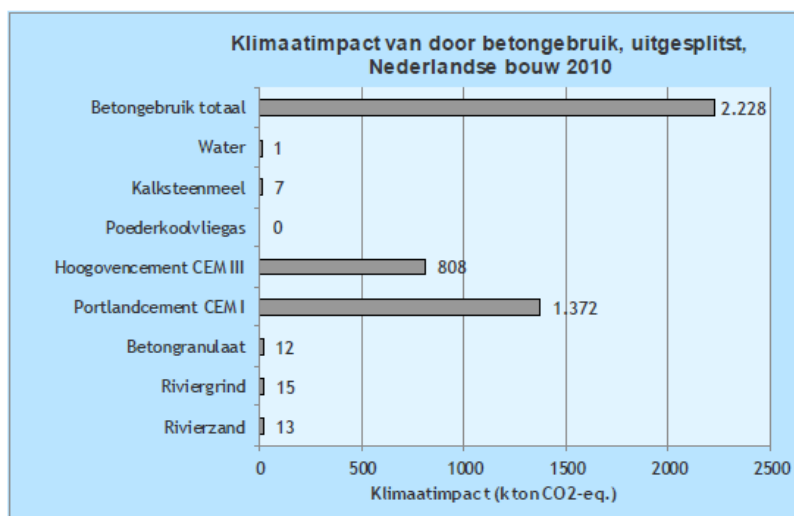
Milieueffecten beton in de keten

Als we kijken naar de hele levenscyclus van beton (Figuur 7), dan worden de broeikasgasemissies oftewel klimaateffecten van beton voor het grootste deel beïnvloed door de betonproductie zelf, in lichte mate door transport en slechts beperkt door andere levensfases (o.m. bouw en sloop).

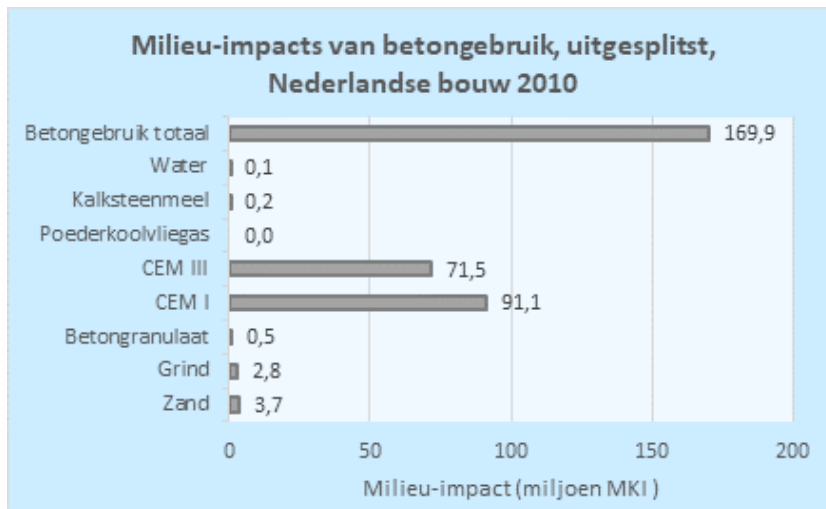


FIGUUR 7 KLIMAATEFFECT VAN DE BETONKETEN (EXCLUSIEF GEBRUIK VAN BOUWWERKEN); TOTAALGEBRUIK BETON IN NEDERLAND IN 2010. BRON: CE DELFT³.

De milieueffecten van de productie van beton (nader gespecificeerd in Figuur 8 [CO₂] en Figuur 9 [MKI]) worden grotendeels beïnvloed door de impact van het cement en slechts in kleine mate door de overige bestanddelen.

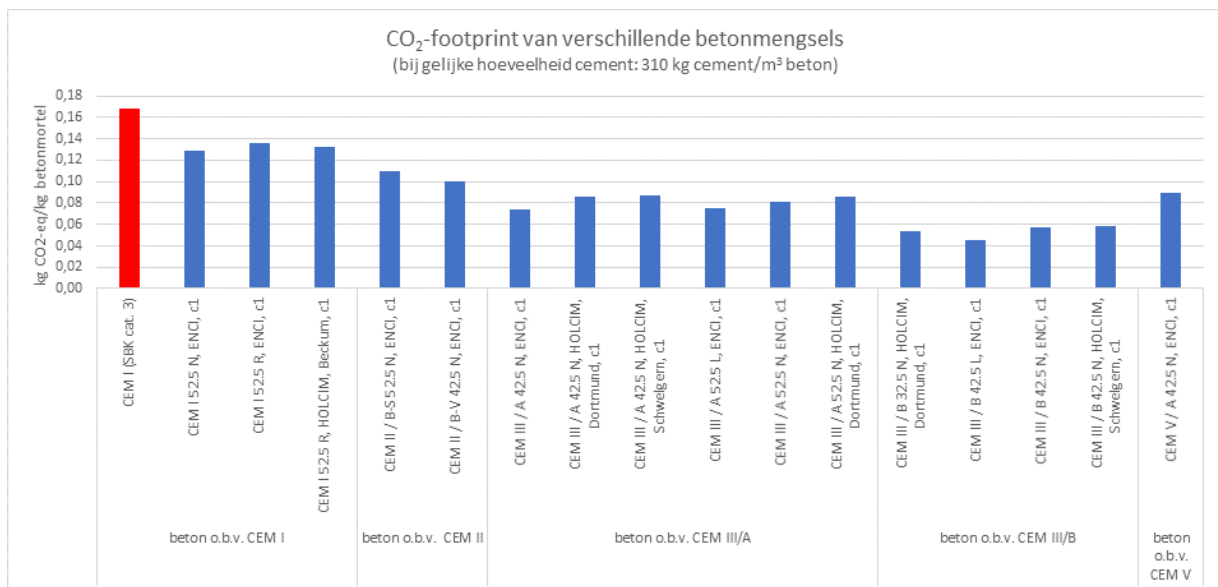


FIGUUR 8 KLIMAATEFFECTEN BETONGEBRUIK, UITGESPLITST NAAR GRONDSTOFFEN; NEDERLAND 2010. BRON: CE DELFT³.



FIGUUR 9 MILIEUEFFECTEN BETONGEBRUIK, UITGESPLITST NAAR GRONDSTOFFEN; NEDERLAND 2010. BRON: ANALYSE TNO A.D.H.V. NMD 3.0 EN GEMIDDELDE MENGSELSAMENSTELLING VOLGENS CE DELFT³ [TABEL 4].

Hierbij is van belang om te realiseren dat er veel verschillende cementtypes oftewel functies/toepassingen van het beton bestaan, en daarmee ook veel variatie in effect (geïllustreerd in Figuur 10). De keuze en omschrijving voor een bepaalde referentie is daardoor cruciaal voor de interpretatie van claims over de milieueffecten van producten.



FIGUUR 10 BROEIKASGASEMISSIES VAN VERSCHILLENDE BETONMENGSELS. OMWILLE VAN DE VERGELIJKBAARHEID IS VOOR IEDER MENGSEL DEZELFDE HOEVEELHEID CEMENT GEHANTEERD (310 KG/M³). IN PRAKTIJK KAN DEZE HOEVEELHEID VERSCHILLEN PER BETONTYPE. BRON: BEREKENING TNO O.B.V. NMD 3.0.

Naast deze kwantitatieve analyse, is in literatuur en op basis van expertervaringen, geïnventariseerd welke andere factoren grote invloed (kunnen) hebben op de milieueffecten van beton.

Samenvattend zijn de cruciale parameters voor LCA's van beton:

(1) Productiefase:

(a) Samenstelling,

- Met name cementtype en hoeveelheid.
- Eventuele additieven.
- Eventuele biobased materialen.

- Carbonatatie is een gevoelig punt waar nog veel over gediscussieerd wordt; beter niet meenemen in berekeningen.
- (b) Transport van grondstoffen (afstand + middel).
- (2) Functionele eenheid en daarmee samenhangend: omschrijving van referentie.

Hieronder beschrijven we aan de hand van twee type betoninnovaties hoe geprioriteerd kan worden op basis van verwachte impact op het meten van MKI: (1) geopolymere en (2) mechanische recycling.

Voor beide innovaties wordt gestart met een analyse waar het verschil in impact zit ten opzichte van een referentiebeton, aan de hand van literatuur of eigen metingen. Daarna wordt op basis van deze informatie bepaald waar LCA-/LCC-berekeningen op gebaseerd moeten worden. Tot slot wordt aangegeven wat in het verificatieplan kan worden opgenomen.

(1) Geopolymeren

Analyse van de impacts

Geopolymeerbeton is een steenachtig materiaal waarbij een ander bindmiddel wordt toegepast dan in regulier beton: een geopolymeer in plaats van cement. De definitie van geopolymere (volgens het Betonlexicon) is: “verzamelnaam voor alkali-geactiveerde aluminiumsilicaten”. Het zijn anorganische bindmiddelen die meestal bestaan uit twee basiscomponenten:

1. Precursor: reactieve aluminium- en siliciumhoudende hoofdbestanddelen (bijv. vliegash, hoogovenslak of metakaolien).
2. Activator: een sterke alkalische activator (bijvoorbeeld waterglas en/of natriumhydroxide).

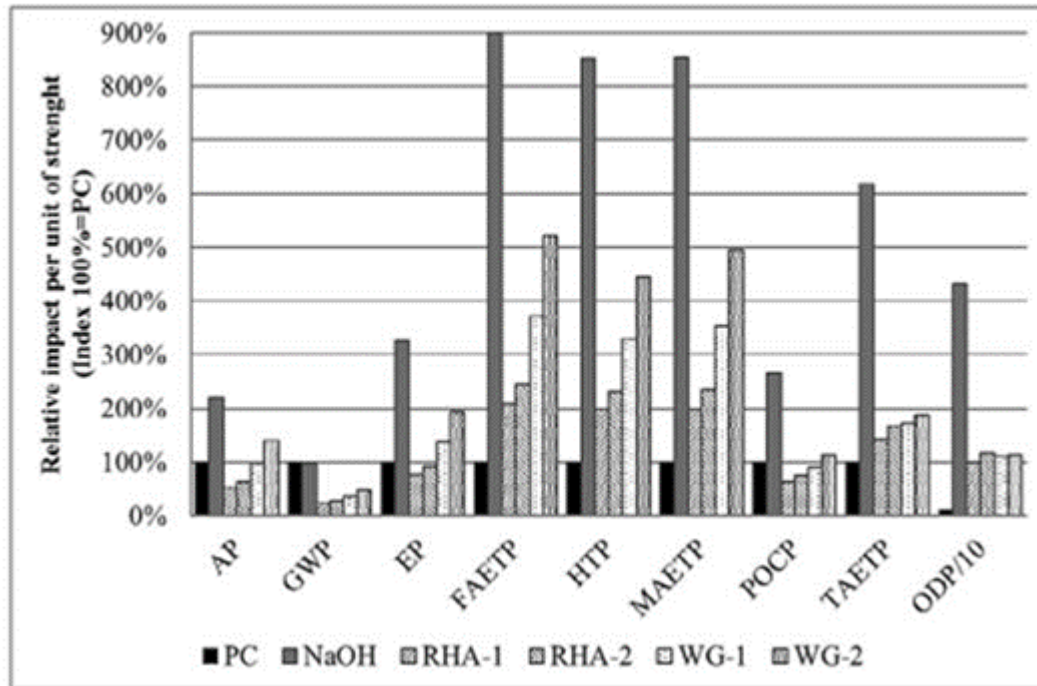
Geopolymeren bevatten dus heel andere basiscomponenten dan conventionele bindmiddelen zoals Portlandcement en hierdoor is de werking ook anders. Bij Portlandcement vindt hydratatie plaats, terwijl bij geopolymere sprake is van polymerisatie waarbij een aluminiumsilicaatnetwerk wordt gevormd. Doordat zowel de basiscomponenten als het proces anders zijn, veranderen, in vergelijking tot Portlandcement, de milieueffecten en de kosten in met name de productiefase. Wat precies de belangrijkste aspecten zijn om aandacht aan te besteden in de LCA's en LCC's voor deze case, wordt nader toegelicht in de volgende paragrafen.

Een review van beschikbare papers over de milieueffecten van geopolymere, laat zien dat met name de productie van grondstoffen cruciaal is in de LCA-berekeningen. Ook voor de LCC-berekeningen maken de gekozen grondstoffen en hun herkomst veel uit. Hieronder beschrijven we de parameters die van invloed zijn op de LCA en LCC. Uiteraard is het mogelijk dat deze informatie niet in dermate detail bekend is bij de pilotuitvoerders; in dat geval moeten de toeleverende partijen benaderd worden met een verzoek om informatie. De volgende paragrafen leggen uit welke factoren hierbij van belang zijn.

Op basis van deze papers kunnen een aantal aandachtspunten worden geïdentificeerd. In de eerste plaats is de keuze voor een bepaalde activator en de bijbehorende productieketen van belang. Dit wordt geïllustreerd door onder meer Habert & Ouellet-Plamondon (2016)¹³; zie ook Figuur 13.

¹³ Habert & Ouellet-Plamondon (2016). Recent update on the environmental impact of geopolymers. RILEM Technical Letters, 1, pp. 17-23.

Met name de productieketen van natronloog, welke ook een rol speelt in de productie van een andere activator, waterglas, speelt hierbij een grote rol, terwijl er veel verschillende productiewijzen van natronloog zijn, die qua effecten sterk kunnen verschillen. Ook Petrillo et al. (2016)¹⁴, Salas (2018)¹⁵ en Salazar (2018)¹⁶ sluiten zich aan bij deze conclusies. Logischerwijs hebben parameters zoals hoeveelheid en concentratie een grote invloed op de uiteindelijke effecten van het geopolymer. Ook voor de LCC is dit van belang.



FIGUUR 11 ILLUSTRATIE VAN VARIATIES TUSSEN VERSCHILLENDE MILIEU-EFFECTCATEGORIEËN: MILIEUEFFECTEN VAN GEOPOLYMEREN MET VERSCHILLENDE ACTIVATORS IN VERGELIJKING TOT PORTLAND CEMENT (PC), UITGEDRUKT IN RELATIEVE MILIEUEFFECTEN PER EENHEID VAN DRUKSTERKTE (COMPRESSIVE STRENGTH, MPA). LEGENDA: NaOH = NATRONLOOG; RHA = RICE HUSK ASH (CHEMICALLY MODIFIED, 2 VARIANTEN); WG = WATERGLAS (2 VARIANTEN). DE AFKORTINGEN OP DE X-AS REPRESENTEREN DE MILIEUEFFECTCATEGORIEËN. OPMERKING: ODP-WAARDES ZIJN GEDEELD DOOR EEN FACTOR TIEN OMWILLE VAN LEESBAARHEID. BRON: HABERT & OUELLET-PLAMONDON (2016)¹³.

In de tweede plaats speelt de precursor een grote rol. Dit wordt geïllustreerd door Habert & Ouellet-Plamondon (2016)¹³; zie ook Figuur 14. Kernpunt bij het bepalen van de effecten van de precursor, is of er sprake is van bijproducten uit andere productsystemen of dat er afvalproducten gebruikt worden (die free of burden beschouwd mogen worden). In de verschillende papers wordt op zeer verschillende wijze omgegaan met allocatie en dat leidt tot grote verschillen in effecten, zoals geïllustreerd door McGrath (2018)¹⁷.

Specifiek in het geval van metakaolien, wat de meest gebruikte kleiachtige precursor is, is er veel variatie tussen de verschillende productiewijzen, afhankelijk van onder meer de gebruikte

¹⁴ Petrillo, A., Cioffi, R., Ferone, C., Colangelo, F. & Borelli, C. (2016). Eco-sustainable Geopolymerconcrete blocks production process. Agriculture and Agricultural Science Procedia 8, pp 408 – 418.

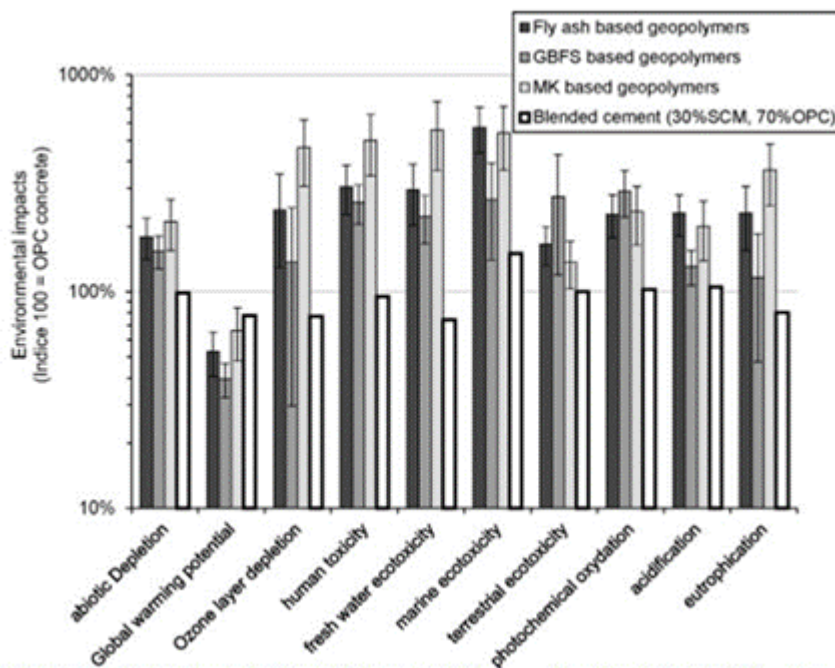
¹⁵ Salas, Daniel & Ramirez, Angel & Ulloa, Nestor & Baykara, Haci & Boero, Andrea. (2018). Life cycle assessment of geopolymer concrete. Construction and Building Materials 190, pp 170-177.

¹⁶ Robayo-Salazar, R., Mejía-Arcila, J., Mejía de Gutiérrez, R. & Martínez, R. (2018). Life cycle assessment (LCA) of an alkali-activated binary concrete based on natural volcanic pozzolan: A comparative analysis to OPC concrete. Construction and Building Materials 176, pp 103-111.

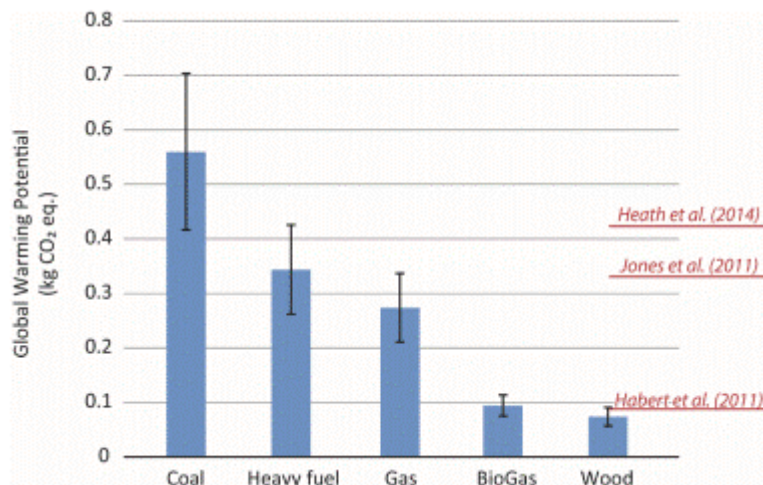
¹⁷ McGrath, T., Cox, S., Soutsos, M., Kong, D., Lim, P. M., & Alengaram, U. J. (2018). Life cycle assessment of geopolymer concrete: A Malaysian context. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 431.

energiebron (zie Figuur 15), transportafstanden, het wel/niet meenemen van de kleiwinning en procesefficiëntie.

Niet direct van belang voor de LCA/LCC van de huidige pilots, maar wel voor de toekomstverwachting, is de beschikbaarheid van materiaal. Bij alle secundaire materialen is de vraag hoe groot deze markt in de toekomst kan worden en welke gevolgen dit heeft voor de effecten van de productie ervan. Deze vragen komen ook terug in het invulformulier (Bijlage 2). Daarnaast speelt transportafstand een rol: als het om schaarse materialen gaat, kan de transportafstand langer zijn dan voor conventionele grondstoffen. Dit verdient dus de aandacht in het modelleren van fase A2.



FIGUUR 12 MILIEUEFFECTEN VAN GEOPOLYMEREN MET WATERGLAS OP BASIS VAN VERSCHILLENDE PRECURSORS. BRON: HABERT & OUELLET-PLAMONDON (2016)¹³.



FIGUUR 13 BROEIKASGASEMISSIES VOOR DE PRODUCTIE VAN 1 KG METAKAOLIEN, AFHANKELIJK VAN BRANDSTOF DIE GEBRUIKT IS VOOR CALCINATIE. VARIABILITEIT BINNEN DE TECHNOLOGIEËN IS BEREKEND OP BASIS VAN MONTE CARLO SIMULATIE EN WORDT GETOOND MET FOUTBALKEN VOOR 2,5% EN 95% RESULTATEN. BRON: HABERT & OUELLET-PLAMONDON (2016)¹³.

Tot slot speelt de keuze voor de referentie een grote rol. Verschillende bronnen, waaronder Passuello et al. (2017)¹⁸ en Habert & Ouellet-Plamondon (2016)¹³ geven aan dat sterkte een belangrijke parameter is in de vergelijking van geopolymere met regulier beton. Het is daarom van belang dat de innovaties niet op basis van massa of volume vergeleken worden, maar op basis van functionele equivalenten.

Bij de referentie speelt ook het vraagstuk van levensduur en onderhoud: gaan de geopolymere even lang mee als de referenties? Het is lastig om dit exact in kaart te brengen, maar zoveel mogelijk onderbouwing van levensduurclaims is gewenst.

Prioriteren op basis van effect en verificatie

Op basis van bovenstaand analyse kunnen we bepalen welke informatie belangrijk is voor een LCA en LCC van geopolymere.

Fase A1: grondstoffenwinning en Fase A2: transport

- Welke precursor gebruikt wordt, is bepalend voor de milieueffecten. Een milieuprofiel of onderbouwing van de milieueffecten van de precursor is dus belangrijke informatie. Denk hierbij aan winning van grondstoffen en eventuele bewerking, bijv. verhitting.
- Welke activator gebruikt wordt, in welke concentratie en hoe deze geproduceerd is, is bepalend voor de milieueffecten. Een milieuprofiel of onderbouwing van de milieueffecten van de activator is dus belangrijke informatie.
- In geopolymeerbeton kunnen voor de reactieve hoofdbestanddelen zowel afvalproducten¹⁹ als bijproducten²⁰ worden gebruikt. Het verschil tussen deze twee heeft te maken met economische waarde van het product. Hoogovenslak is bijvoorbeeld een bijproduct omdat het een handelswaarde heeft.
 - De milieueffecten van afval- of bijproducten worden bepaald aan de hand van economische allocatie. In Bijlage 3 wordt beschreven hoe de levenscycli van processen waar materiaal uit vrij komt, en nieuwe levenscycli met elkaar samen hangen. We willen inzicht krijgen welke milieueffecten toe te kennen is aan de opwerking van bijproducten zodat deze informatie beschikbaar is, ook wanneer naar de toekomst toe secundaire grondstoffen ‘burden free’ een nieuwe cyclus ingaan.
 - Indien de economische waarde niet te bepalen is mag de volgende vuistregel worden gevolgd:
 - Alloceer sloop (C1) en transport naar de verwerker (C2) aan oude levenscyclus;
 - Alloceer alle verdere opwerking (bijv. breken, schoonmaken, toevoegen van additieven) in nieuwe levenscyclus (A1). Hieronder valt ook transport van de verwerker naar de opwerkingslocatie.

Verificatievoorbeeld: voor de verificatie van milieueffecten en kosten is het dus belangrijk dat wordt aangetoond welke precursor en activator worden gebruikt. Dit kan bijvoorbeeld worden aangetoond door het leveren van bestelbonnen.

¹⁸ Passuello, A., Rodriguez, E. D., Hirt, E., Longhi, M., Bernal, S. A., Provis, J. L., et al. (2017). Evaluation of the potential improvement in the environmental footprint of geopolymers using waste-derived activators. Journal of Cleaner Production 166, pp 680–689.

¹⁹ Definitie in de SBK Bepalingsmethode: “stof of voorwerp waarvan de houder zich ontdoet, of voornemens of verplicht is ontdoen”.

²⁰ Definitie in de SBK Bepalingsmethode: “een van twee of meer verhandelbare materialen, producten of brandstoffen uit hetzelfde eenheidsproces, maar die niet het onderwerp is van de beoordeling”.

Fase A3: Productie geopolymeerbeton

- Bij de productie van geopolymeerbeton is het van grote invloed op de milieueffecten of thermische uitharding nodig is. Als thermische uitharding nodig is gaan de milieueffecten van geopolymeerbeton omhoog (aldus Passuello et al. ¹⁸). Het is daarom van belang om in kaart te brengen of dit noodzakelijk is en zo ja hoeveel energie dit kost.

Verificatievoorbeeld: als thermische uitharding nodig is, is het belangrijk dat gemeten of berekend wordt hoeveel energie gebruikt is.

Fase A4: Transport naar het werk en Fase A5: aanleg

- In principe wordt er verwacht dat het transport en de aanleg van geopolymeerbeton hetzelfde is als voor referentiebeton; alleen indien dit afwijkt moet dit aangegeven worden.

Verificatievoorbeeld: indien er een extra machine nodig zou zijn voor het aanleggen van geopolymeerbeton, moet aangetoond worden welke machine dit is en hoeveel brandstof deze verbruikt.

Fase B: Gebruiksfase

- Met betrekking tot de gebruiksfase is nog onbekend of er uitloging kan optreden. In principe zou dit getest moeten worden vanwege het Besluit Bodemkwaliteit. Informatie hierover is echter nog schaars, dus meer informatie tijdens de pilots is welkom.

Verificatievoorbeeld: tijdens de pilot een uitlogingstest uitvoeren. Er moet van tevoren bepaald worden op welk moment deze test moet worden uitgevoerd. Is aan het eind van de pilot voldoende of moet het ook tussentijds gebeuren?

Fase C: Einde levensduur

- Hiervoor geldt hetzelfde als voor transport & aanleg (fase A4 & A5); in principe is er geen reden om aan te nemen dat geopolymere hierin afwijken van de referentie, maar als dit wel het geval is moet dit benoemd en berekend worden.

Verificatievoorbeeld: als er niets afwijkt hoeft er niets geverifieerd te worden.

Fase D: Recycling

- Er is nog weinig bekend over de recyclemogelijkheden van geopolymeerbeton. In welke toepassingen kan het gerecycled worden? Is dit hetzelfde als bij referentiebeton? Wat is de verwachte kwaliteit over 100 jaar? Informatie hierover moet meegenomen worden bij de beoordeling van Fase D.

Verificatievoorbeeld: er moet gekeken worden of er testen mogelijk zijn om dit aan te tonen.

(2) Mechanische recycling

Analyse van de impacts

Er zijn een aantal verschillende varianten van mechanische recycling in ontwikkeling. Een definitie van mechanische recycling volgens RWS²¹ is: “Het terugbrengen van beton naar de fracties zand, grind en cementsteen”.

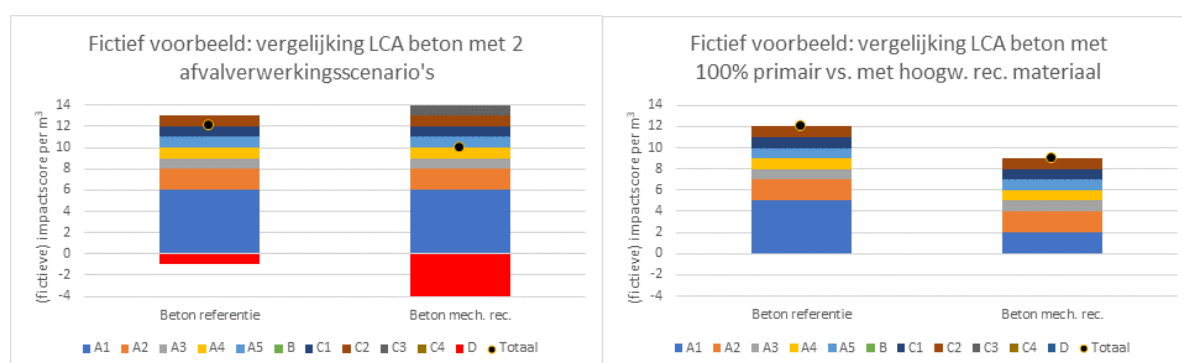
²¹ Bron: Verduurzaming betongebruik bij RWS – April 2019.

Dit wordt gedaan door 'slim breken', bijvoorbeeld door bij het voorbreken van grote brokken ervoor te zorgen dat het grind zo min mogelijk beschadigt en vervolgens met een moderne techniek verder breken en scheiden in fracties. Deze fracties kunnen vervolgens toegepast worden in een nieuw betonmengsel.

Net als bij geopolymeren, verschillen de milieueffecten en kosten van mechanisch gerecycled materiaal vooral qua productiefase ten opzichte van Portlandcement. Dit wordt nader toegelicht in de volgende paragrafen.

Al bij aanvang van de quickscan berekeningen voor mechanische recycling werd duidelijk dat de scope van de LCA en LCC cruciaal is voor de uiteindelijke effecten. Er zijn grofweg twee benaderingswijzen mogelijk die tot twee verschillende interpretaties van de effecten leiden: het benaderen van de afvalverwerkingseffecten of het benaderen van de productie effecten voor secundaire producten. Hoe dit uitwerkt voor de resultaten van LCA en LCC, is geïllustreerd in Figuur 14 aan de hand van een fictief voorbeeld. Alhoewel de hoofdconclusies in beide gevallen gelijk is (de innovatie heeft een lager effect dan de referentie), verschilt de conclusie over waar het zwaartepunt zit (links: in de afvalfase; rechts: in de productiefase) en hoeveel het relatieve verschil is (links -17%, rechts -25%).

Beide methodes hebben voor- en nadelen. Dit is in meer detail beschreven in Bijlage 3. In overleg met de adviesbureaus en de opdrachtgever is besloten om voor deze klimaatenvlop de tweede berekeningswijze te volgen (secundaire producten).



FIGUUR 14 FICTIEF VOORBEELD VOOR DE TWEE MOGELIJKE BEREKENINGSWIJZEN VAN MECHANISCHE RECYCLING VAN BETON: ALS AFVALVERWERKINGSSCENARIO (LINKS) OF ALS NIEUW PRODUCT MET SECUNDAIRE MATERIAAL ERIN (RECHTS). DE ILLUSTRATIE GELDT ZOWEL VOOR LCA- ALS LCC-BEREKENINGEN.

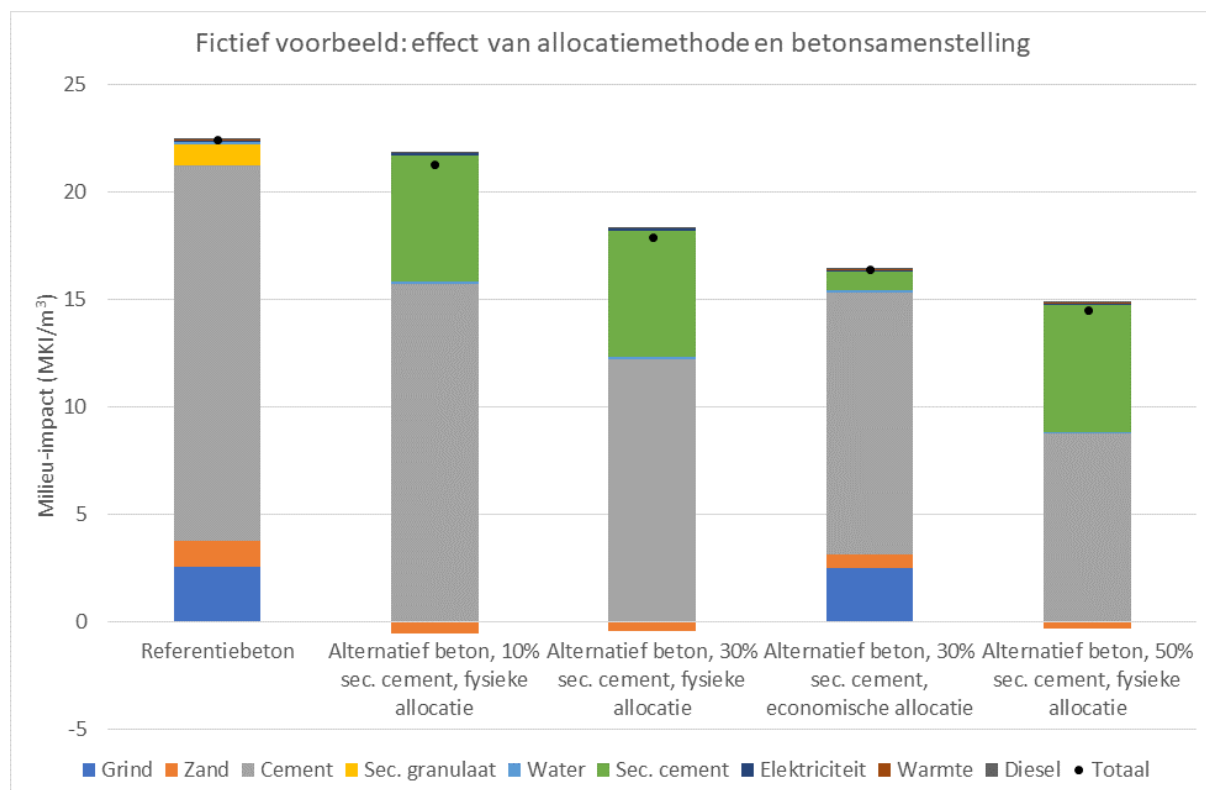
De volgende stap is om vast te stellen welke factoren meest invloedrijk zijn in de vergelijking van beton met mechanische gerecycled materiaal versus regulier beton. Aangezien de productiefase van het beton en dan met name de cementproductie cruciaal is in de LCA/LCC van regulier beton en juist bij deze innovatie aan de materiaalknoppen gedraaid wordt, is de samenstelling van het beton ook bij mechanische recycling een invloedrijke factor. Uit kennis over het productieproces van beton met secundaire materialen, weten we dat de samenstelling sterk bepaald wordt door de componenten die er in zitten. In beton met gerecyclede materialen hoeven minder primaire grondstoffen (zand, grind, cement) toegevoegd te worden, maar tegelijkertijd kan fijn, secundair materiaal zorgen voor een grotere waterbehoefte en daarmee een toename in het cementgehalte vereisen. De pilots moeten daarom duidelijk aangeven hoe de samenstelling van hun nieuwe betonmengsel eruit zal gaan zien.

Een nieuw betonmengsel betekent ook dat de vraag is waarmee het functioneel vergelijkbaar is. In de regel worden betonsoorten ingedeeld in sterkteklassen op basis van cementgehalte, maar voor

beton met gerecycled materiaal zijn nog geen sterkteregeels. Het is daarom aan de bedrijven om een realistische inschatting en onderbouwing te maken van het meest representatieve referentieproduct.

Naast de samenstelling en de referentie is er nog een derde factor die meespeelt in de effecten/kosten van de innovatie: het energiegebruik van het “productieproces” oftewel de mechanische recycling zelf en hoe deze verdeeld wordt (“allocatie”) over de verschillende co-producten (fijne en grove fracties). Het begint dus bij het in kaart brengen van het recycleproces: hoeveel energie kost het om het beton te recyclen en welke stromen worden hiermee gegenereerd en in welke verhouding? Voor de LCC speelt daarnaast ook mee welke investeringskosten gemaakt moeten worden voor de recycling installatie. Bij de LCA weten we dat over het algemeen installaties relatief weinig bijdragen aan de totale effecten en daarom mogen in deze pilotfase de milieueffecten van de installatie buiten beschouwing gelaten worden.

Vervolgens is dus de vraag hoe deze energie-effecten en kosten verdeeld moeten worden over de verschillende co-producten. In een proefberekening zijn een aantal mogelijke allocatiemethodes vergeleken op basis van fictieve data. Figuur 15 laat de resultaten van deze proefberekening zien. Zonder alle details te verklaren, is te zien dat de vier varianten leiden tot verschillende conclusies omtrent de effecten van secundaire materialen: bijvoorbeeld de effecten van secundair grind zijn in een aantal varianten relatief hoog, terwijl in andere varianten de effecten vooral bij secundair cement terecht komen. Een hoog effect voor secundair grind kan in sommige gevallen zelfs leiden tot een hoger effect per kilogram dan voor primair grind! Op basis van deze analyse wordt gevraagd economische allocatie toe te passen, om zoveel mogelijk recht te doen aan de waarde van de verschillende stromen.



FIGUUR 15 INVLOED VAN VERSCHILLENDE ALLOCATIEMETHODES OP DE LCA-RESULTATEN VAN BETON MET MECHANISCH GERECYCLED MATERIAAL: ILLUSTRATIEVE LCA-BEREKENING OP BASIS VAN FICTIEVE DATA. BRON: TNO.

Prioriteren op basis van effect en verificatie

Mede op basis van bovenstaande analyse kunnen we bepalen welke informatie belangrijk is voor een LCA en LCC van mechanisch gerecycled beton in de verschillende levensfasen.

Fase A1 t/m A3: grondstoffenwinning, transport naar proceslocatie en productieproces

- Onderbouwing van de samenstelling van het beton (t.o.v. de referentie). Denk hierbij aan:
 - o Cement;
 - o Water;
 - o Additieven (bijv. verjongingsmiddelen).
- De transportafstanden van de grondstoffen naar de betoncentrale (fase A2) kunnen variëren per project, maar mede met oog op kostenefficiëntie is het te verwachten dat het transport van secundaire grondstoffen in veel gevallen vergelijkbaar is met de referentie. Indien er extra transport nodig is in verband met een extra opwerkingsstap op een andere locatie, moet dit wel meegenomen worden.
- Het mechanische recyclingproces moet in kaart gebracht worden (fase C1, C2 en C3 van de vorige levenscyclus). Denk hierbij aan de energie-input en eventuele hulpmiddelen (bijv. water of chemicaliën).
- De milieu-impact en de kosten van het mechanische recyclingproces moeten economisch gealloceerd worden aan de verschillende opgeleverde producten.
- De economische afschrijvingskosten voor de recyclinginstallatie moeten eveneens worden toegerekend aan de producten die ermee geproduceerd worden. De milieueffecten van de recyclinginstallatie hoeven niet berekend te worden, maar enkel inzichtelijk gemaakt te worden door de materiaalbehoefte per functionele eenheid te schatten. Dit kan gedaan worden door een schatting te maken van de massa van de installatie en deze te delen door het aantal functionele eenheden (bijv. tonnen) die er over de gehele levensduur van de installatie mee verwerkt zouden kunnen worden.

Verificatievoorbeeld: omdat het recyclingproces van grote invloed is op de milieueffecten en de kosten, is het van belang om het proces duidelijk in kaart te brengen. Welke input (energie) heeft het recyclingproces nodig, welke output genereert het recyclingproces en wat is de economische waarde van deze outputstromen? Dit kan bijvoorbeeld worden aangetoond door een massabalans aan te leveren en de waarde van de output door een verkooporder.

Fase A4: Transport naar het werk en fase A5: aanleg

- In principe wordt er verwacht dat het transport naar het werk en de aanleg van mechanisch gerecycled beton hetzelfde is als voor referentiebeton; alleen indien dit afwijkt moet dit aangegeven worden.

Verificatievoorbeeld: indien er een extra machine nodig zou zijn voor het aanleggen van mechanisch gerecycled beton, moet aangetoond worden welke machine dit is en hoeveel brandstof deze verbruikt.

Fase B: Gebruiksphase

- Met betrekking tot de gebruiksphase is nog onbekend of er uitloging kan optreden. In principe zou dit getest moeten worden vanwege het Besluit Bodemkwaliteit. Informatie hierover is echter nog schaars, dus meer informatie tijdens de pilots is welkom.

Verificatievoorbeeld: tijdens de pilot een uitlogingstest uitvoeren. Er moet van tevoren bepaald worden op welk moment deze test moet worden uitgevoerd. Is aan het eind van de pilot voldoende of moet het ook tussentijds gebeuren?

Fase C & D: Einde levensduur en recycling

- Hiervoor geldt hetzelfde als voor transport & aanleg (fase A4 & A5); in principe is er geen reden om aan te nemen dat mechanisch gerecycled beton hierin afwijkt van de referentie, maar als dit wel het geval is moet dit benoemd en berekend worden. Er zijn wel enkele punten waar aandacht aan besteed moet worden:
 - Recyclebaarheid: is het beton met mechanisch gerecycled materiaal net zo te recyclen als het referentiebeton? Dit dient onderbouwd te worden en indien er afwijking is, nader gespecificeerd.
 - Risico voor dubbeltelling: materiaal wat in de productiefase reeds secundair was, mag in de einde levensfase (module D) niet nogmaals als recyclebaar product worden opgenomen (aldus de SBK Bepalingsmethode). Let hierop bij de berekeningen.
 - Multicycli-aspecten: indien het cement (deels) opnieuw ingezet kan worden, kan dit oneindig gebeuren, of wordt uiteindelijk de reactiviteit te klein? Bijvoorbeeld in het geval van papierrecycling zit er een grens aan het aantal recyclingcycli; is dit bij mechanische recycling ook het geval? Hoeveel reactief materiaal is er nog over na de eerste levenscyclus? Maak hoeveelheden inzichtelijk!

Verificatievoorbeeld: laat zien wat de reactiviteit is van het secundaire cement en toon met proeven aan wat de maximaal haalbare hoeveelheid secundair cement is die aan een nieuw mengsel toegevoegd kan worden.